

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MÉTODO PARA REGISTRO, ANÁLISE E CONTROLE DE FALHAS HUMANAS
NA MANUTENÇÃO DE CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

EDSON LUIS PEDRASSANI

FLORIANÓPOLIS

2000

EDSON LUIS PEDRASSANI

**MÉTODO PARA REGISTRO, ANÁLISE E CONTROLE DE FALHAS HUMANAS
NA MANUTENÇÃO DE CENTRAIS HIDRELÉTRICAS**

**Dissertação submetida à
Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia.**

FLORIANÓPOLIS

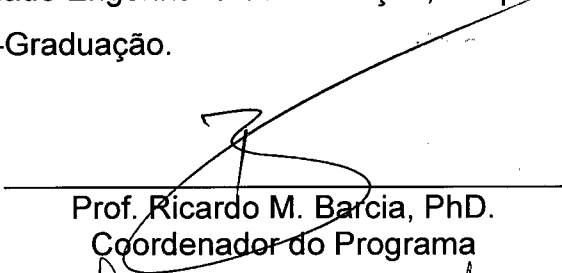
2000

**MÉTODO PARA REGISTRO, ANÁLISE E CONTROLE DE FALHAS HUMANAS
NA MANUTENÇÃO DE CENTRAIS HIDRELÉTRICAS**

EDSON LUIS PEDRASSANI

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, Especialidade Engenharia de Produção, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação.

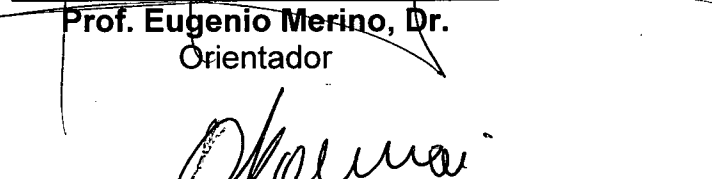
Banca Examinadora:



Prof. Ricardo M. Barcia, PhD.
Coordenador do Programa



Prof. Eugenio Merino, Dr.
Orientador



Prof. Osmar Possamai, Dr.



Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.

Florianópolis, 09 de outubro de 2000.

Toda empresa precisa ter gente que erra,
que não tem medo de errar e que aprende
com o erro.

William Gates III

Este trabalho é dedicado a minha esposa Ivete, pelo constante incentivo e inabalável confiança no resultado final.

AGRADECIMENTOS

- À Diretoria da Itaipu Binacional e à Superintendência de Manutenção, pela decisão de proporcionar a alguns engenheiros a oportunidade de cursar a pós-graduação em Engenharia de Produção.
- Aos professores da Universidade Federal de Santa Catarina, pelo incentivo, pelo apoio e pela exigência.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS IX

LISTA DE TABELAS X

RESUMO XI

ABSTRACT XII

1 **INTRODUÇÃO** 1

1.1 **Objetivos** 4

1.2 **Resultados Esperados** 4

1.3 **Justificativa** 5

1.4 **Delimitação do estudo** 5

1.5 **Metodologia** 6

1.6 **Estrutura do Trabalho** 6

2 **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA** 8

2.1 **Manutenção** 9

2.1.1 Tipos de manutenção 11

2.1.2 Etapas do processo de manutenção 16

2.1.3 Evolução Histórica da Manutenção 18

2.2 **Teoria Geral de Sistemas** 20

2.3 **Erros Humanos** 26

2.3.1 Tipos de erros humanos 27

2.3.2 Por que as organizações têm dificuldade em aprender com os erros humanos? 31

2.4 **Motivação** 35

2.4.1 A hierarquia das necessidades de Maslow 36

2.4.2 Teoria dos dois fatores de Herzberg 39

2.4.3 Teoria X e Y de McGregor 41

2.5 **Trabalho em Equipe** 45

2.5.1 Técnicas de grupo para resolução de problemas 45

2.6 **Comunicação** 47

2.7 Cultura organizacional..... 51

2.8 Treinamento..... 53

2.8.1 Múltiplas habilidades 54

2.8.2 Aprendizagem, treinamento e desenvolvimento 56

2.9 Ferramentas da Qualidade 59

2.9.1 Fluxograma ou gráfico de fluxo 59

2.9.2 Diagrama de Pareto 60

2.9.3 Diagrama de causa-efeito (Ishikawa)..... 62

2.9.4 Diagrama de barras ou histograma 63

2.9.5 Diagrama de dispersão 65

2.9.6 Folha de verificação 66

2.9.7 Carta de controle..... 67

3 ESTUDO DE CASO 72

3.1 Aspectos particulares da Itaipu Binacional 73

3.2 Equipamentos da Central Hidrelétrica 73

3.3 A área de manutenção da Itaipu Binacional 74

3.4 Método atual de Controle das Falhas Humanas..... 77

3.5 Ordens de Serviço 79

3.6 Os Relatórios de Anomalias existentes 80

4 MODELO PROPOSTO PARA REGISTRO, CONTROLE E ANÁLISE 83

4.1 Impacto sobre a geração e transmissão de energia 83

4.2 Danos 84

4.3 Tipos de falhas humanas 85

4.4 Outras classificações 89

4.5 Potencial de Acidente 90

5 APLICAÇÃO PRÁTICA DO MODELO PROPOSTO..... 93

5.1 Distribuição de falhas conforme o Impacto na Geração 96

5.2 Distribuição de falhas por Danos 96

5.3 Distribuição de falhas por tipo..... 97

5.4	Distribuição de falhas por função do empregado	97
5.5	Distribuição de Falhas por período do dia.....	98
5.6	Distribuição de falhas por dia da semana.....	98
5.7	Distribuição de falhas por divisão	99
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	101
6.1	Conclusões	101
6.2	Recomendações para trabalhos futuros.....	103
	GLOSSÁRIO	105
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
	BIBLIOGRAFIA.....	115
	BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR	118
	ANEXO 1 - O ACIDENTE DE CHERNOBYL	119
	ANEXO 2 - O ACIDENTE DE THREE MILES ISLAND	124
	ANEXO 3 - O ACIDENTE DE PIPER ALPHA.....	127
	ANEXO 4 - O ACIDENTE DO CHALLENGER.....	135
	ANEXO 5 - NORMA INTERNA ATUAL PARA CONTROLE DE ERROS.....	143
	ANEXO 6 - RAS DE UM ACIDENTE TÍPICO (RAS 07/99).....	149

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo de vida da instalação e custos.....	9
Figura 2 - Tipos de Manutenção	12
Figura 3 - O processo de manutenção	16
Figura 4 - Sistema homem-máquina.....	22
Figura 5 - Relação entre hardware, software e humanware	24
Figura 6 - Taxinomia de erros humanos	29
Figura 7 - Pirâmide de Acidentes.....	33
Figura 8 - Hierarquia das necessidades de Maslow	37
Figura 9 - Diagrama Esquemático do processo de comunicação.....	49
Figura 10 - Abrangência dos Requisitos de Treinamento	57
Figura 11 - Fases e simbologia utilizada num fluxograma.....	60
Figura 12 - Diagrama de Pareto	62
Figura 13 - Diagrama de Ishikawa	62
Figura 14 - Histograma	64
Figura 15 - Diagrama de Dispersão.....	66
Figura 16 - Carta de Controle	70
Figura 17 - Carta de Controle	70
Figura 18 - A utilização das ferramentas básicas na resolução de problemas	70
Figura 19 - Organograma da Superintendência de Manutenção.....	75
Figura 20 - Organograma do Departamento de Manutenção	75
Figura 21 - Fluxograma Erro x Violação	87
Figura 22 - Fluxograma Engano x Distração x Lapso.....	88
Figura 23 - Falhas por Impacto na Geração e Transmissão de Energia	96
Figura 24 - Falhas conforme os danos ocasionados	96
Figura 25 - Falhas por tipo.....	97
Figura 26 - Falhas por função.....	97
Figura 27 - Falhas por período do dia.....	98
Figura 28 - Falhas por dia da semana	98
Figura 29 - Falhas por divisão	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Expectativas e técnicas de manutenção ao longo da História..... 20

Tabela 2 - Erros e violações baseados em habilidades, regras e conhecimentos.. 30

Tabela 3 - Comparação de erros e violações 31

Tabela 4 - Fatores Motivacionais e Fatores Higiênicos 40

Tabela 5 - Teoria X e Teoria Y..... 42

Tabela 6 - Quadro de Técnicas de Grupo para Solução de Problemas 46

Tabela 7 - Quantidades dos Principais Equipamentos da Central..... 74

Tabela 8 - Solicitações de Serviço em 1998..... 80

Tabela 9 - Solicitações de Serviço em 1999..... 80

Tabela 10 - Relatórios de 1998..... 81

Tabela 11 - Relatórios de 1999..... 82

Tabela 12 - Impactos sobre capacidade de geração ou transmissão..... 83

Tabela 13 - Danos 85

Tabela 14 - Tipos de falhas 86

Tabela 15 - Relatórios de 1998 com respectiva classificação 94

Tabela 16 - Relatórios de 1999 com respectiva classificação 95

RESUMO

Devido à importância da energia elétrica para nossa sociedade industrial, a função manutenção, principal responsável pela confiabilidade de fornecimento desta energia e pela disponibilidade dos equipamentos, é fundamental para a empresa. Porém a qualidade do serviço de manutenção depende, não apenas de equipamentos e métodos, mas também do elemento humano. Um simples erro humano nesta área pode ocasionar perdas consideráveis para a empresa e para a comunidade em geral. Este trabalho descreve os conceitos de manutenção e de erros humanos e propõe um método para registro, análise e controle de falhas humanas na manutenção de uma central hidrelétrica. Mediante a análise de relatórios de anomalias durante um período de dois anos e a classificação das falhas conforme critérios existentes em bibliografia, foi possível propor um método para registro e diagnóstico de erros humanos, com conseqüente aumento do controle gerencial do processo de manutenção e possibilidade de ações preventivas.

PALAVRAS-CHAVE

erro humano

falha humana

ergonomia

manutenção

sistema homem-máquina

ABSTRACT

Due to the importance of electric energy to our industrial society, the maintenance function, main responsible by reliability of energy supply and by availability of equipment, is fundamental for the company. But the quality of maintenance service depends, not only on equipment and methods, but on human factors too. One single human error in this area can cause great losses to the company and to the community too. This work describes the concepts of maintenance and human errors and proposes a method to record, to analyze and to control the human errors in maintenance of a hydroelectric power plant. By mean of analysis of non-conformity reports during a period of two years, it was possible to propose a method of recording and diagnosis of human errors and consequently to increase management control of maintenance process and making possible preventive actions.

KEY-WORDS

human error
human failure
ergonomics
human factors
maintenance
human-machine system

1 INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial implantou-se a crença de que o aumento da produção dependia apenas de mais e melhores máquinas. Taylor introduziu a preocupação com a tarefa e a padronização dos métodos e jogou toda a responsabilidade sobre a gerência: “Tal aceleração do trabalho só poderá ser obtida por meio da padronização obrigatória dos métodos, adoção obrigatória dos melhores instrumentos e condições de trabalho e cooperação obrigatórias. E esta atribuição de impor padrões e forçar a cooperação compete exclusivamente à gerência.” (Taylor, 1980, p.82).

Mais tarde Fayol, com sua ênfase na estrutura, iniciou a preocupação com o processo. Somente no final da década de 20 e início da década de 30, Elton Mayo viria a introduzir a preocupação com a variável humana como elemento crítico no processo produtivo. Porém, passado mais de meio século das experiências de Hawthorne (Chiavenato, 1987, p. 160-161) observa-se que o acelerado desenvolvimento tecnológico levou as gerências industriais a acreditarem que, com melhores e mais modernos equipamentos, nada poderia dar errado.

Por outro lado, nossa civilização e nosso estilo de vida dependem de uma base tecnológica na qual a energia elétrica desempenha um papel básico e indispensável. As fábricas, que no início da revolução industrial eram movidas por máquinas a vapor, hoje são movidas, quase sem exceção, por eletricidade. Mais do que isto, criou-se uma necessidade de energia elétrica em todos os momentos de nosso dia-a-dia: o microondas usado em nosso café da manhã, o elevador de nosso edifício, o semáforo das ruas em nosso caminho ao trabalho, o ônibus ou trem elétrico, o computador de nossos escritórios, consultórios ou fábricas.

Com tal demanda, a indústria de energia elétrica desenvolveu-se até o ponto em que um colapso no fornecimento traria consequências catastróficas, como demonstrou o grande *blackout* de New York em 1965. (Lefèvre e Silveira, 1997, s.p.)

Ao longo do tempo desenvolveu-se a consciência de que nem os melhores equipamentos podem prescindir de manutenção. Os especialistas em equipamentos de todos os tipos sabem o *slogan* **maintenance free** (livre de manutenção) é apenas um apelo de *marketing*. Exceto se são utilizados equipamentos tão baratos que possam ser descartados e substituídos por novos cada vez que falhem. Porém, infelizmente não é o caso na indústria de energia elétrica, onde os equipamentos são caros e produzidos em séries limitadas, quando não específicos para determinada instalação. Assim, a necessidade de um processo de manutenção estabeleceu-se como algo inquestionável e, graças a isso, dispomos de instalações quase centenárias ainda produzindo energia.

É importante a compreensão de que na produção do **bem** energia elétrica, o **serviço** de manutenção ocupa posição fundamental. Monchy (1989, p. 4) define como **fundamental** a posição dos **serviços de manutenção** nas centrais nucleares, empresas de transporte (principalmente metrô e aeronáutica), não apenas pelos valores econômicos envolvidos, mas principalmente pelos profundos impactos na vida de milhares de pessoas e em toda a economia. A posição **importante** é reservada para as empresas de processo (exemplo: petroquímica, devido à necessidade de segurança), a posição **secundária** fica para as empresas com baixos custos de parada. Ainda para Monchy (1989, p.5) apenas a indústria **manufatureira**, devido à ausência da produção em série, pode optar pela **conservação** tradicional, isto é, a simples limpeza dos equipamentos e reparo apenas quando quebrar. Deve-se compreender que Monchy (1989, p.4) cita especificamente as centrais nucleares, por ser esta a base da geração de energia elétrica na França. Logo, podemos estender sua afirmação para as centrais elétricas em geral, uma vez que é evidente em sua classificação a preocupação com o impacto econômico e social da queda de produção.

O termo **manutenção**, embora já existisse na linguagem militar com significado um pouco distinto, só apareceu na indústria americana por volta de 1950 (Monchy, 1989, p. 3). Assim esta função essencial para as empresas só começou a ser identificada há cerca de meio século. Por outro lado, a tecnologia cada vez mais

sofisticada exige uma formação multidisciplinar do profissional de manutenção, pois as fronteiras entre as diversas especialidades não são evidentes em muitos equipamentos, e as dificuldades de diagnóstico são grandes. (Monchy, 1989, p. 7)

Como todo serviço, o produto manutenção apresenta variações consideráveis cada vez que é **entregue**. A grande variedade de equipamentos e suas interligações são um elemento complicador adicional. Logo, a preocupação com a qualidade deve ser estendida ao elemento humano.

Nenhuma indústria está livre de erros, o que foi muito evidenciado pela questão do *bug* do milênio: até a informática, uma das tecnologias mais avançadas, gera produtos com defeito que se revelaram anos depois. A revista *The Economist* (1997, p.17) com sua manchete “Por que grandes tecnologias causam grandes enganos” ressalta este aspecto. Grandes instalações, concebidas pelas tecnologias mais avançadas, também falham e, na raiz destas falhas, está o elemento humano. Os relatos dos acidentes nas usinas de Chernobyl, em 1986 (Anexo 1) e Three Miles Island, em 1979 (Anexo 2) deixam claro este aspecto. No acidente de Chernobyl oito falhas humanas foram claramente identificadas. O que se busca evidenciar neste trabalho é que os grandes acidentes em geral acontecem quando os pequenos acidentes e mesmo os quase-acidentes são negligenciados. O relato de Chernobyl evidencia que houve várias oportunidades de evitar o acidente porém mais e mais erros foram sendo cometidos até atingir-se o ponto crítico. O acidente de Three Miles Island, embora menos conhecido do público brasileiro, foi o maior acidente nuclear da história americana e, se medidas corretivas não tivessem sido tomadas, mais dois minutos o teriam transformado numa tragédia igual a Chernobyl (Krantz, 1999).

Mas como evitar erros humanos? Os dados referentes a falhas em sistemas ou equipamentos são difíceis de obter e os arquivos de tais dados são difíceis de manter, informa LaSala (1998, p. 365). Assim, muitas vezes procura-se uma falha no equipamento, quando a falha foi humana.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um método para registro, controle e análise de falhas humanas, acidentes e quase-acidentes na manutenção de centrais hidrelétricas.

Como objetivos específicos temos:

- a) Determinar, mediante pesquisa bibliográfica sobre falhas humanas em instalações industriais, quais fatores são relevantes para compreensão do evento.
- b) Evidenciar a importância do registro falhas humanas, incidentes e acidentes.
- c) Estabelecer um método de classificação de falhas humanas.
- d) Estabelecer um método de classificação dos impactos associados às falhas humanas.

1.2 Resultados Esperados

Espera-se obter os seguintes resultados:

- a) Identificar os tipos de erros ocorridos nas situações relatadas em 1998 e 1999.
- b) Evidenciar, para o corpo técnico e gerencial, os benefícios advindos da análise sistemática de acidentes, ressaltando os ganhos potenciais que virão da eliminação do retrabalho conseqüente das falhas humanas.
- c) Evidenciar, para o corpo técnico e gerencial, que as falhas humanas somente podem ser minimizadas mediante análise permanente e sistemática de suas causas, com a participação ativa das pessoas diretamente envolvidas.
- d) Implantar um método de controle de falhas humanas mais eficaz que o atualmente existente.
- e) Tornar a prevenção de falhas um objetivo permanente a ser buscado mediante atualização de manuais e planejamento de trabalhos.
- f) Contribuir para desmistificar a questão das falhas humanas, deixando claro que falha humana não significa culpa humana.

1.3 Justificativa

No decorrer deste trabalho é citado o impacto das falhas humanas em instalações industriais e, em particular, na manutenção de Centrais Hidrelétricas. Porém, são raros os trabalhos referentes a este assunto. Na empresa em questão os relatórios existentes são poucos e seu estudo não era sistematizado. Em muitas empresas da área de energia elétrica, nem sequer existe um registro deste tipo de falhas.

Os aspectos culturais em geral provocam uma reação a qualquer tentativa de registrar e analisar falhas no momento que começam a surgir indícios de que a origem foi humana. Se, por um lado, isto representa uma dificuldade à elaboração do trabalho, por outro mostra que existe um vasto campo inexplorado de pesquisa de causas de falhas.

Os incidentes de alta frequência, porém baixa gravidade, podem levar a aumentos dos custos de produção, além de outros impactos negativos para a empresa, e por isso devem ser estudados com a mesma atenção dedicada hoje a erros catastróficos que são de frequência muito baixa.

Desta forma são evidenciados os benefícios tanto para a empresa quanto para os trabalhadores, principalmente a questão da prevenção de acidentes.

1.4 Delimitação do estudo

Embora a Fundamentação Teórica seja abrangente, a aplicação prática limita-se às Comunicações de Ocorrências Técnicas (COT) do ano de 1998 e os Relatórios de Anomalias em Serviços (RAS) de 1999. Como afirmado anteriormente, os dados são limitados e este trabalho tem por objetivo estabelecer um método que possibilite o controle e, desta forma, contribua para criar uma cultura de segurança que facilite a obtenção de mais dados após sua implantação.

Porém, mesmo a quantidade limitada de dados possibilita uma análise sistemática, que conduz a conclusões sobre as causas, e desta forma possibilita estudar meios de prevenção.

A revisão bibliográfica abordou os aspectos de Manutenção, Teoria Geral de Sistemas, Erros Humanos, Motivação, Trabalho em Equipe, Comunicação, Cultura Organizacional, Treinamento e Ferramentas da Qualidade. Outros temas também importantes, como por exemplo os relacionados à psicologia e fisiologia, dentre outros, não foram abordados por não fazerem parte do escopo do trabalho.

1.5 Metodologia

A pesquisa é documental e qualitativa. Os dados existentes nos citados relatórios de anomalias são analisados utilizando critérios estabelecidos com base na bibliografia existente, com a finalidade de obter-se uma relação de causa e efeito para as falhas. Posteriormente os dados são tabulados utilizando planilha de cálculo EXCEL de forma a determinar as causas básicas comuns a todas as falhas. Mediante o estudo das causas é possível propor-se medidas para melhorar a confiabilidade da performance humana.

Os relatórios referentes a falhas humanas estavam disponíveis na empresa, porém não havia nenhum método de análise. Após realização da pesquisa bibliográfica e estabelecimento de um critério, todos os relatórios disponíveis (35 no total) foram analisados e enquadrados nas classificações propostas.

1.6 Estrutura do Trabalho

O capítulo 1 destaca a importância da energia elétrica para a sociedade industrial e da manutenção para garantir a continuidade do fornecimento desta energia.

No capítulo 2 é descrita a pesquisa bibliografia realizada sobre Manutenção, Teoria Geral de Sistemas, Erros Humanos, Motivação, Trabalho em Equipe, Comunicação, Cultura Organizacional, Treinamento e Ferramentas da Qualidade.

No Capítulo 3 é descrita a área de manutenção da Itaipu Binacional.

No capítulo 4 é apresentado o Modelo Proposto para Registro, Análise e Controle de Falhas Humanas.

No capítulo 5 é apresentada a aplicação prática do modelo proposto.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões do trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste trabalho tem como finalidade apresentar os estudos já existentes na bibliografia referente a falhas humanas e seus relacionamentos com diversas áreas de conhecimento. Desta forma inicia-se com o tema Manutenção, por ser esta a área onde se aplica a presente pesquisa. Depois passa-se à Teoria Geral de Sistemas, indispensável para compreensão da interface homem-máquina onde ocorrem os Erros Humanos, que são abordados na seqüência.

Para aprofundar o estudo dos Erros Humanos é necessário o conhecimento de suas causas básicas, entre as quais está a Motivação.

Uma vez que a manutenção é por natureza um trabalho que envolve muitas interações entre pessoas e a solução de problemas demanda o uso de algumas técnicas de grupo para solução de problemas, estuda-se posteriormente o assunto Trabalho de Equipe.

O estudo da Comunicação é necessário, não só para melhor entender as interfaces homem-máquina, como também para compreender a dinâmica do trabalho em equipe característico da manutenção.

É necessário reconhecer que o simples estudo da questão de erros humanos choca-se com uma barreira cultural, de forma que é importante a compreensão de alguns aspectos de Cultura Organizacional. No item 2.7 (Cultura Organizacional) são mostradas as relações entre comunicações, tomada de decisões solução de conflitos, atitudes, motivação e liderança.

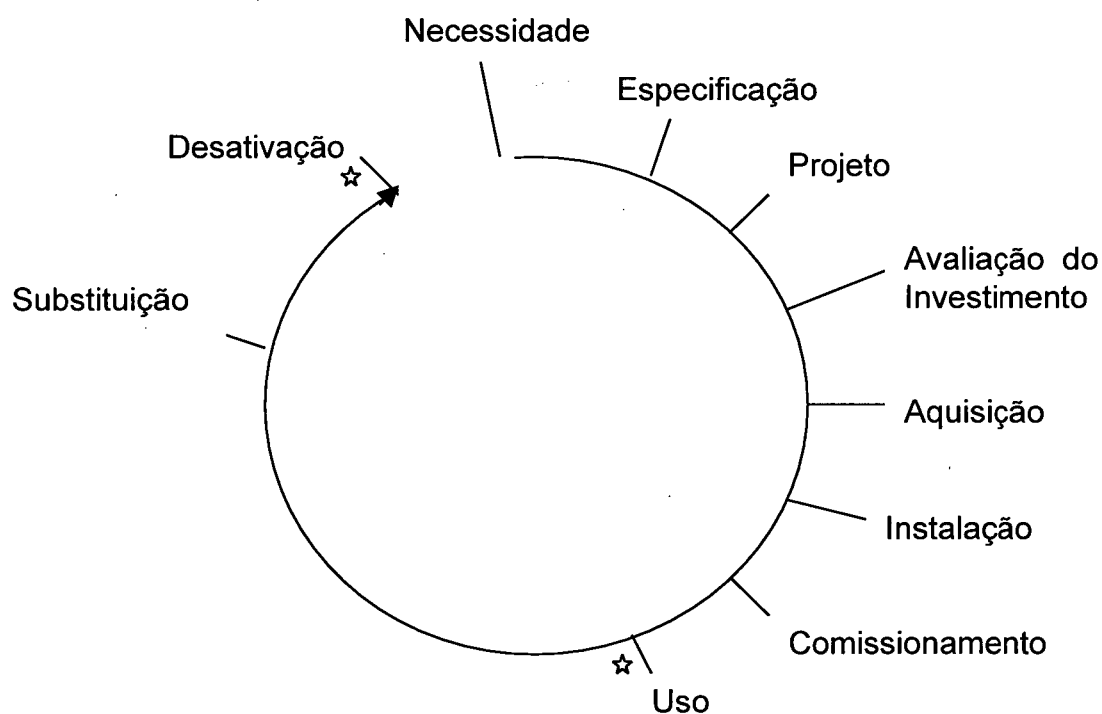
Como é apresentado mais adiante, os erros humanos estão relacionados ao processamento de informações e, desta forma, são necessários alguns conceitos de Treinamento. Além disso, como não existe, em nenhum nível, uma formação escolar específica para manutenção, é tradicional a preocupação dos profissionais desta área com o treinamento para o desempenho da função.

Por fim, para a elaboração de relatórios de anomalias e para estudo e classificação dos seus dados, considera-se necessário o conhecimento de Ferramentas da Qualidade. Estas também utilizadas em várias situações do trabalho de manutenção.

2.1 Manutenção

As organizações industriais existem para gerar lucros, usam equipamentos e empregam pessoas para converter matéria-prima bruta de valor relativamente baixo em produtos acabados de valor mais alto. (Kelly, 1989, p.1)

Uma maneira interessante de considerar a lucratividade de uma instalação é relacioná-la ao seu ciclo de vida, conforme indicado na figura 1.



Fonte: Kelly (1989, p.1)

Figura 1 - Ciclo de vida da instalação e custos

O investimento ocorre desde sua concepção até sua colocação em serviço (usualmente chamada de comissionamento). Em condições normais, o retorno do investimento começa quando a instalação inicia seu funcionamento e continua, normalmente por décadas, até sua desativação. Esses dois marcos estão assinalados na figura 1 por estrelas. Para maximizar o lucro, o tempo desde sua concepção até o início de funcionamento, ou uso, deve ser o menor possível, enquanto a vida operacional, e conseqüentemente o retorno total, deve ser o maior possível.

Desta forma a disponibilidade, ou seja, a proporção de tempo que, em um certo período, a instalação está apta a produzir (produzindo ou pronta a produzir) é um dos fatores determinantes da lucratividade.

Por outro lado, é necessário que exista um certo grau de certeza que, quando existir a demanda, a instalação funcione conforme concebida (ou, se possível, ainda melhor). É o que se convencionou chamar de confiabilidade. Para Lida (1990, p.23) “a noção de confiabilidade (para os sistemas) coincide com o conceito popular de pessoas confiáveis: cumprem os seus deveres, não se atrasam nos seus compromissos e não apresentam desvio de comportamento.”

Estes dois parâmetros tornaram-se ainda mais importantes na indústria de energia elétrica à medida em que, em busca da economia de escala, grupos de pequenas usinas foram substituídas por grandes usinas. Confiabilidade e disponibilidade altas são desejáveis em uma pequena usina, mas são imprescindíveis em uma grande instalação. (Kelly, 1989, p.5)

O termo manutenção, segundo Monchy (1989, p.3), provém do vocabulário militar com o sentido de “manter, nas unidades de combate, o efetivo e o material num nível constante”. Para a Abraman (Associação Brasileira de Manutenção), manutenção é “o conjunto de medidas ou ações que permitam manter ou restabelecer a um sistema o estado de funcionamento” (Branco Filho, 1996, p.61).

A manutenção é o único meio economicamente viável conhecido de, por um lado estender ao máximo a vida útil de uma instalação e, por outro, garantir alta disponibilidade e confiabilidade. Ainda que, paradoxalmente, algumas manutenções exijam a retirada de serviço da instalação ou parte dela, produzindo, no curtíssimo prazo, uma menor disponibilidade.

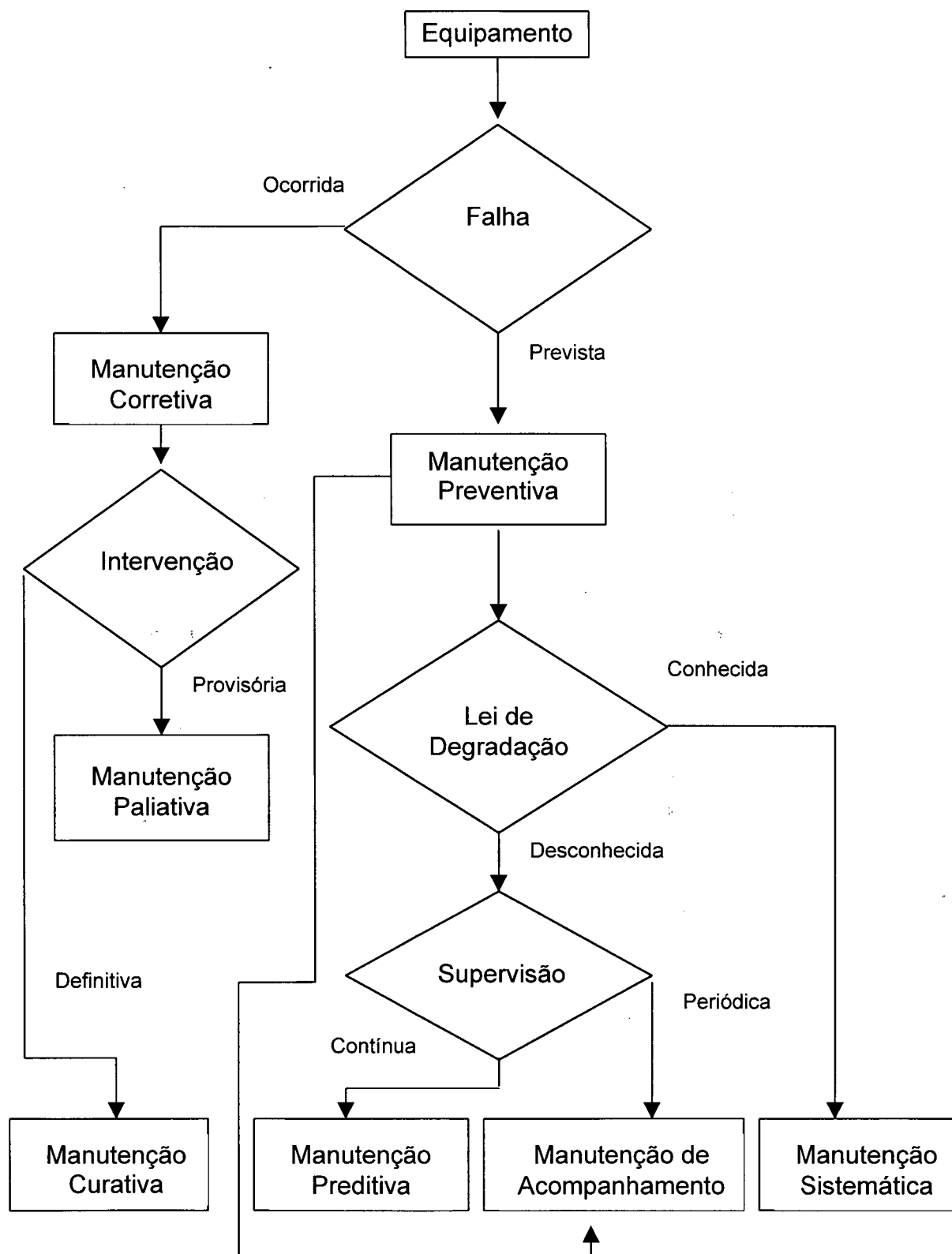
Este paradoxo é um dos componentes do ambiente em que vive o homem de manutenção e voltará a ser abordado no item 2.4 (Motivação).

2.1.1 Tipos de manutenção

As definições de tipos de manutenção sofrem variações conforme o autor consultado, porém as distinções essenciais são sempre as mesmas.

A classificação que apresentamos a seguir baseia-se na classificação de Monchy (1989, p.15) e busca mostrar todas as variantes possíveis em uma mesma classificação geral.

Considere-se inicialmente um equipamento em **condições normais de funcionamento**. Este equipamento pode ser um aparelho de televisão ou um gerador de uma usina. A figura 2 mostra os diferentes tipos de manutenção, conforme explicado na seqüência.



Fonte: Monchy (1989, p. 15) - adaptado

Figura 2 - Tipos de Manutenção

O evento pelo qual se espera é uma **falha**, ou seja, algo que impeça o equipamento de desempenhar suas funções.

Se a falha ocorreu, e na sequência há uma intervenção da equipe de manutenção, diz-se que está sendo realizada uma **manutenção corretiva**. Se, ao contrário a falha não ocorreu, está sendo realizada uma **manutenção preventiva**. Deve-se evidenciar que a ocorrência de um **defeito**, ou seja um evento que não impede o equipamento de desempenhar suas funções, não caracteriza a manutenção que o segue como corretiva, mas sim como preventiva (neste caso **aperiódica**).

Após a ocorrência da falha, a intervenção pode solucionar totalmente o problema, ocasião em que a manutenção é chamada de **definitiva**. Pode, porém solucioná-lo parcialmente, apenas para permitir que o equipamento volte a desempenhar sua função, ainda que precariamente, ocasião em que a manutenção corretiva é chamada **curativa**.

Não tendo ocorrido a falha, a manutenção é **preventiva**. A manutenção preventiva, em sua forma mais simples é feita de forma **periódica** (tempo ou horas de serviço). Porém esta forma só deveria ser utilizada quando se conhece a lei de degradação, ou seja, a forma como o equipamento envelhece. Neste caso, a manutenção preventiva é chamada de **sistemática**.

Caso não se conheça a forma e velocidade como o equipamento envelhece, o correto é utilizar algum sistema automático de supervisão que nos permita monitorar as suas condições. Se esta supervisão for **contínua**, mediante algum sistema instalado permanentemente no equipamento, tem-se uma manutenção preventiva **preditiva**. Caso a supervisão não seja contínua, isto é, de tempos em tempos instala-se um instrumento ou sistema que permita avaliar as condições do equipamento, tem-se uma manutenção **de acompanhamento**.

Um exemplo simples para entender-se a questão da supervisão é o método utilizado pelos médicos para controle de pressão arterial. A lei de degradação não é

conhecida, pois não se sabe, para cada paciente, se e quando sua pressão fica excessivamente alta. Logo, utiliza-se algum sistema de supervisão. A supervisão **periódica** é realizada com o aparelho comum de medir pressão que os médicos utilizam durante as consultas. Naqueles casos mais críticos, a medicina moderna conta com os aparelhos que são instalados na cintura do paciente e monitora sua pressão de **forma contínua**, vinte e quatro horas por dia durante alguns dias. Em uma instalação industrial, para alguns equipamentos críticos, pode-se optar pela supervisão (monitoramento) contínua.

Para compreender a classificação devemos primeiro compreender a diferença entre os termos **falha** e **defeito**, que na área de manutenção apresentam uma diferença que usualmente não é considerada na linguagem leiga.

Adota-se, neste trabalho, os conceitos de falha e defeito, bem como dos vários tipos de manutenção, utilizados pela Associação Brasileira de Manutenção (Abraman), segundo Branco Filho (1996, p. 26-67).

Defeito:

Na área de manutenção industrial, é a alteração das condições de um item, máquina, sistema operacional, de importância suficiente para que sua função normal, ou razoavelmente previsível, não seja satisfatória. Um defeito não torna a máquina indisponível, mas se não reparado ou não corrigido levará a máquina ou o item à falha e à conseqüente indisponibilidade. A aceitação majoritária e consensual tem sido de que o reparo de um defeito é sempre manutenção preventiva, pois a máquina não falhou.

Por sua vez, falha é:

Perda da capacidade de um item para realizar sua função específica. Pode equivar ao termo Avaria. É a diminuição total ou parcial da capacidade de uma peça, componente ou máquina de desempenhar a sua função durante um período de tempo, onde o item deverá sofrer manutenção ou ser substituído. A falha leva o item ao estado de indisponibilidade.

Manutenção Preventiva:

É todo o serviço de manutenção realizado em máquinas que não estejam em falha, estando com isso em condições operacionais, ou em estado de defeito. Existe dentro deste tipo de manutenção, desta atividade, a manutenção sistemática que é prestada a intervalos regulares (quilômetros, horas de funcionamento, ciclos de operação, etc.), a inspeção, a preditiva, as atividades de lubrificação, etc.

Manutenção Corretiva é:

Todo o trabalho de manutenção realizado em máquinas que estejam em falha, para sanar esta falha. A manutenção corretiva pode ser planejada ou não planejada. Se a manutenção corretiva deve ser feita imediatamente, porque graves consequências poderão advir, poderá ser chamada de manutenção corretiva de emergência. [...] Atenção: por definição não existe manutenção corretiva para reparar defeito. Note que existe uma interdependência entre qualidade dos serviços e qualidade de produto. Se houver um abrandamento de qualidade o equipamento ainda pode ser considerado como bom para produzir. Em situações extremas, um equipamento pode ser mantido em serviço apesar de não satisfazer a plenitude de suas funções. Esta área é a área cinzenta entre a definição de corretiva e a definição de preventiva.

Manutenção Preditiva :

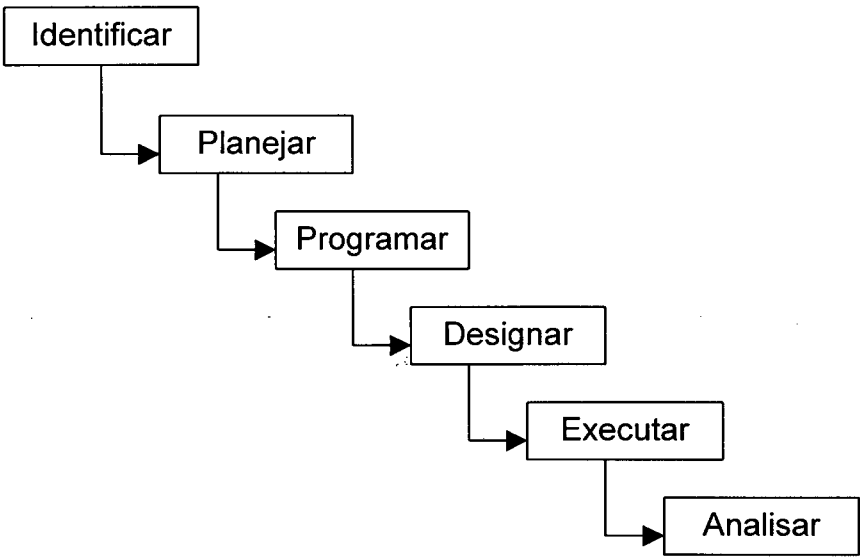
São tarefas de manutenção preventiva que visam acompanhar a máquina ou as peças, por monitoramento, por medições ou por controle estatístico para tentar “prever” ou “predizer” a proximidade da ocorrência de uma falha. É uma tarefa enquadrada como Manutenção Preventiva, pois deverá ser feita para que a máquina não falhe, feita com ela ainda em funcionamento ou em condições de funcionar para executar a tarefa para qual se destina. Assim a troca de um rolamento, que acompanhado por medições de ruído e de vibrações na máquina onde está instalado, é feita normalmente antes da falha, pois normalmente se pode prever quanto tempo o rolamento ainda suporta o trabalho. Programa-se a parada e executa-se a troca, com a máquina ainda operando, com um problema em potencial conhecido e sob controle.

Manutenção Sistemática consiste de:

Tarefas de manutenção, normalmente preventivas e programadas, que são repetidas periodicamente, a intervalos conhecidos, em função da utilização das máquinas e equipamentos. Podem ser por hora de funcionamento, por quilômetro rodado, por hora de voo, por ciclos de trabalho, por toneladas produzidas, por peças fabricadas, etc.

2.1.2 Etapas do processo de manutenção

Para Campbell (1995, p. 46), o trabalho de manutenção realiza-se em seis etapas básicas. O processo inicia-se com a identificação do que deve ser feito e termina com a análise do que deveria ser feito em primeiro lugar, passando pelas etapas de planejamento, programação, designação e execução, conforme mostrado na figura 3.



Fonte: Campbell (1995, p. 46)

Figura 3 - O processo de manutenção

A **identificação** do que deve ser feito pode partir de uma observação, como no caso das manutenções corretivas, mas o ideal é determinar esta necessidade a partir de um programa de inspeções. Este pode determinar a hora de intervir e ajudar a decidir em que lugar na fila de reparos uma tarefa deve ser posicionada.

A etapa de **planejamento** destina-se a assegurar que todos os recursos necessários para o trabalho estão disponíveis. As tarefas mais elementares de planejamento são determinar o que deve ser feito, em que seqüência, e com quais habilidades. Sobressalentes, materiais e componentes são usualmente necessários e freqüentemente não estão imediatamente disponíveis. Algumas vezes, itens

extraordinários ou recursos são necessários, incluindo desenhos de engenharia, contratação de terceiros, ferramentas especiais ou equipamentos móveis. Recomendações de segurança e regulamentos também podem ser necessários.

O planejador deve ser alguém com habilidades técnicas e experiência específica daquela instalação, para ter credibilidade junto àqueles que executam os planos. Ele deve ter a habilidade de analisar os padrões prévios, para organizar o trabalho e estimar sua duração. Finalmente, deve calcular o custo aproximado da revisão, permitindo projeções de fluxo de caixa e decisões de reparar ou substituir.

A etapa de **programação**, em última análise, é uma questão de disponibilidade. Quando o pessoal com as habilidades requeridas estará disponível? A empresa tem os sobressalentes? A equipe de execução tem a liberação do equipamento pela área de operação?

Para programar o pessoal capacitado, deve-se analisar toda a lista de pessoal e depois subtrair quem está doente, de férias ou em treinamento. Há trabalhos que devem ter prioridade. Estes incluem a manutenção preventiva, a carga normal de trabalho de emergência e outros trabalhos planejados já iniciados.

A disponibilidade de sobressalentes é uma questão de verificar a situação dos estoques ou o tempo de entrega de itens comprados diretamente dos fornecedores. Em muitos casos, há uma diferença entre o que os registros de estoque indicam e o que está realmente disponível. A confirmação visual é altamente recomendável até que os mantenedores dos estoques e seus sistemas de controle ganhem a sua confiança.

A **designação do trabalho** depende da forma da organização. Equipes autônomas, autogerenciadas, fazem tudo exceto os diagnósticos e reparos mais especializados. Organizações mais tradicionais usualmente delegam a designação do trabalho diário a pessoal de cada instalação ou a supervisores. De qualquer maneira, é recomendável que a equipe ou o supervisor tenham alguns dias de trabalho

planejado à frente. Isto permite flexibilidade para atender a emergências, trabalhos não planejados, ou variações da disponibilidade de mão-de-obra.

A **execução** é a etapa mais visível. Equipes bem treinadas e motivadas mantêm o processo em andamento. Elas adicionam o valor real – qualidade, custo e serviço. É nesta etapa que ocorre a maior parte dos erros humanos.

A **análise** é a etapa final, mas não menos importante. A análise das falhas e as decisões tomadas diminuem as possibilidades de repetição dos mesmos erros. Nenhum trabalho de manutenção está completo sem a etapa de análise.

Estas etapas são a essência do processo de manutenção. Muitas organizações, porém, parecem ter apenas a etapa de execução. O trabalho de “apagar incêndio” é excitante e as pessoas se sentem muito realizadas quando o “fogo é apagado”. Mas este tipo de gerenciamento deixa muito pouco tempo para um trabalho cuidadoso e planejado. (Campbell, 1995, p.49)

2.1.3 Evolução Histórica da Manutenção

Embora o próprio termo manutenção fosse raramente usado no início, podemos traçar a história desta disciplina gerencial desde os anos 30. Até a época da Segunda Guerra Mundial, que Moubrey (2000, p.2) denomina **Primeira Geração**, a indústria não era altamente mecanizada, de forma que o tempo de indisponibilidade de equipamentos não era uma preocupação e conseqüentemente a prevenção de falhas não era uma prioridade nas mentes gerenciais. Além disso, os equipamentos em geral eram simples e, muitas vezes, superdimensionados. Isto os tornava confiáveis e fáceis de reparar. Como conseqüência, não havia necessidade de manutenção sistemática de qualquer espécie, além de limpeza e lubrificação rotineiras.

Durante a Segunda Guerra Mundial, cresceu a demanda por mercadorias de todos os tipos, enquanto o suprimento de mão-de-obra caiu bruscamente. Isto levou a uma crescente mecanização. Por volta dos anos 50, as máquinas de todos os tipos já eram mais numerosas e mais complexas, de forma que a indústria já começava a depender delas. Começava, para a Manutenção, o que Moulbray (2000, p. 2) denomina a **Segunda Geração**.

À medida em que esta dependência crescia, os tempos de equipamento parado começaram a se tornar tema de preocupação. Isto levou à idéia de que as falhas em equipamentos podiam e deviam ser previstas, o que levou ao conceito de **Manutenção Preventiva**. Nos anos 60, esta consistia principalmente a revisões gerais de equipamentos feitas a intervalos regulares.

Os custos de manutenção começaram a subir em relação a outros custos operacionais. Isto levou ao crescimento dos sistemas de planejamento e controle. Isto ajudou a manter a manutenção sob controle e agora está consolidado como parte da prática de manutenção.

Finalmente o grande capital investido em ativos fixos, junto com um rápido crescimento do custo de capital, levou à preocupação em buscar maneiras de maximizar a vida útil dos equipamentos.

Nos anos 60, a processo de rápida mudança nas indústrias acelerou-se culminando com a chegada da **Terceira Geração** nos anos 80. A Terceira Geração significou o crescimento da preocupação com mais alta disponibilidade e confiabilidade da instalação, mais segurança, mais qualidade do produto, nenhum dano ao ambiente, mais longa vida dos equipamentos e custos sob controle. A tabela 1 mostra as expectativas e técnicas de manutenção em cada geração.

Tabela 1 - Expectativas e técnicas de manutenção ao longo da História

	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração
Expectativas	<ul style="list-style-type: none">• Consertar quando quebrar	<ul style="list-style-type: none">• Maior disponibilidade da instalação• Mais longa vida útil do equipamento• Custos mais baixos	<ul style="list-style-type: none">• Maior disponibilidade e confiabilidade da instalação• Mais segurança• Mais qualidade do produto• Nenhum dano ao ambiente• Maior vida útil do equipamento• Controle de custos
Técnicas	<ul style="list-style-type: none">• Consertar quando quebrar	<ul style="list-style-type: none">• Revisões gerais programadas• Sistemas para planejamento e controle do trabalho• Computadores grandes e lentos	<ul style="list-style-type: none">• Monitoramento das condições• Projeto para confiabilidade e manutenibilidade• Estudos de riscos• Computadores rápidos e pequenos• Análise de Modos e Efeitos das Falhas• Sistemas Especialistas• Multi-habilitação e trabalho de equipe
	1940 – 1950	1960 - 1970	1980-1990-2000

Fonte: Moulbray (2000, p.3 e 5) – adaptado

Atualmente há uma explosão de novos conceitos e técnicas de manutenção. Centenas foram desenvolvidas nos últimos quinze anos e muitas ainda estão surgindo.

2.2 Teoria Geral de Sistemas

A Teoria Geral de Sistemas (TGS) surgiu na década de 30, com os trabalhos do biólogo austríaco Ludwig von Bertalanffy (ISSS, Internet, 2000). Quando se consideram os objetos de estudo como sistemas, sejam físicos, químicos ou sociais, muitos princípios e conclusões de algumas ciências têm validade para outras (Bertalanffy apud Chiavenatto, 1987, p.346).

O objetivo da TGS não é solucionar problemas ou tentar soluções práticas, mas produzir teorias e formulações conceituais que criem condições de aplicações na realidade empírica.

Os princípios básicos da TGS são:

- a) Existe uma nítida tendência para a integração nas várias ciências naturais e sociais.
- b) Esta integração parece orientar-se rumo a uma teoria dos sistemas.
- c) Esta teoria dos sistemas pode ser uma maneira mais abrangente de estudar os campos não-físicos do conhecimento científico, especialmente as áreas sociais.
- d) Esta teoria dos sistemas, ao desenvolver princípios unificadores que atravessam verticalmente os universos particulares das diversas ciências envolvidas, aproxima-se do objetivo da unidade da ciência.
- e) Isto pode levar a uma integração muito necessária na educação científica.

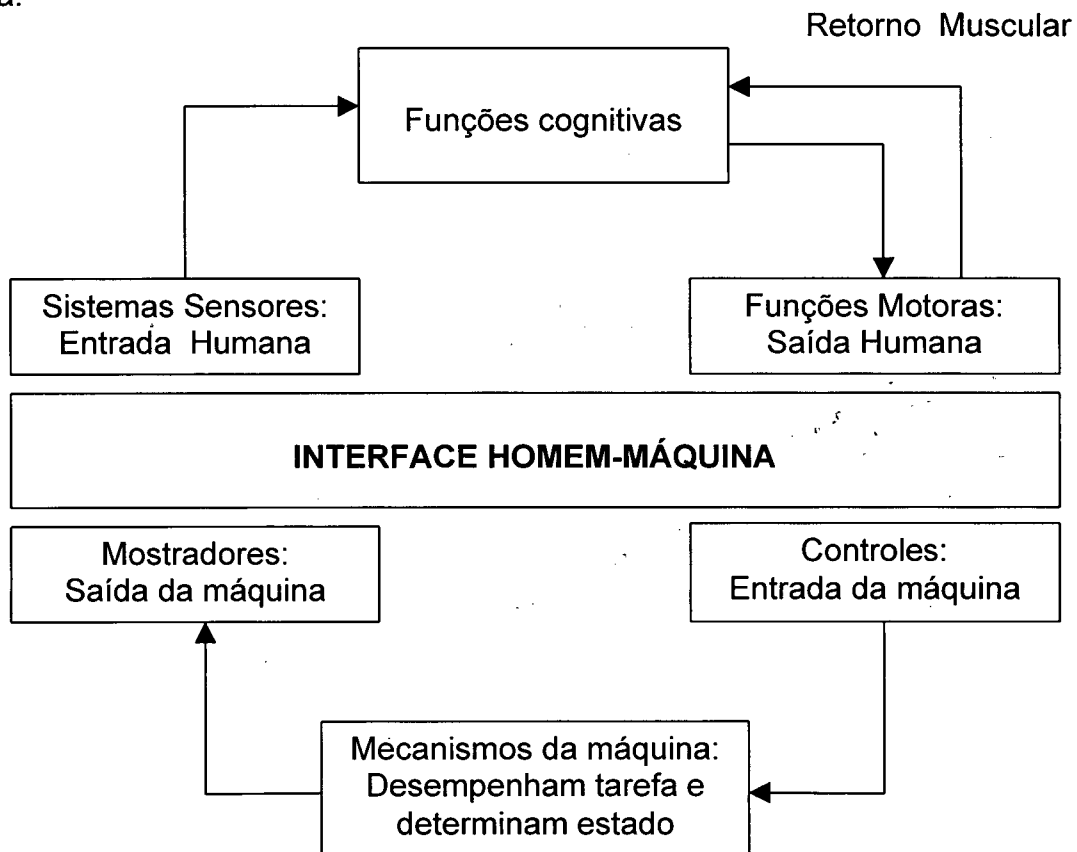
As propriedades dos sistemas, afirma a TGS, não podem ser descritas adequadamente com o estudo de seus elementos separados. A compreensão somente ocorre quando os elementos são estudados globalmente, incorporando as interdependências dos seus subsistemas ou elementos.

Segundo Berrien apud Chiavenatto (1987, p.347), a TGS baseia-se em três premissas básicas:

- a) Os sistemas existem dentro de sistemas. Peças dentro de uma máquina, moléculas dentro de células e assim por diante.
- b) Os sistemas são abertos. É uma consequência da premissa anterior. Cada sistema analisado, com exceção do maior de todos e do menor de todos, recebe e transmite alguma coisa aos demais, em geral àqueles contíguos. Os sistemas abertos estão em um processo infinito de intercâmbio com o ambiente, que são outros sistemas. Se o intercâmbio cessa, o sistema se desintegra, isto é, perde suas fontes de energia.

- c) As funções de um sistema dependem de sua estrutura. Esta afirmação é intuitiva para os sistemas biológicos e mecânicos.

De particular interesse para este trabalho é a noção de sistema homem-máquina que é um dos conceitos básicos da Ergonomia (Moraes,1998,p.21). A área de interface entre homem e máquina, que é onde os erros ocorrem, merece uma atenção especial. A figura 4 mostra, de forma esquemática, um sistema homem-máquina.



Fonte: Krantz (Internet)

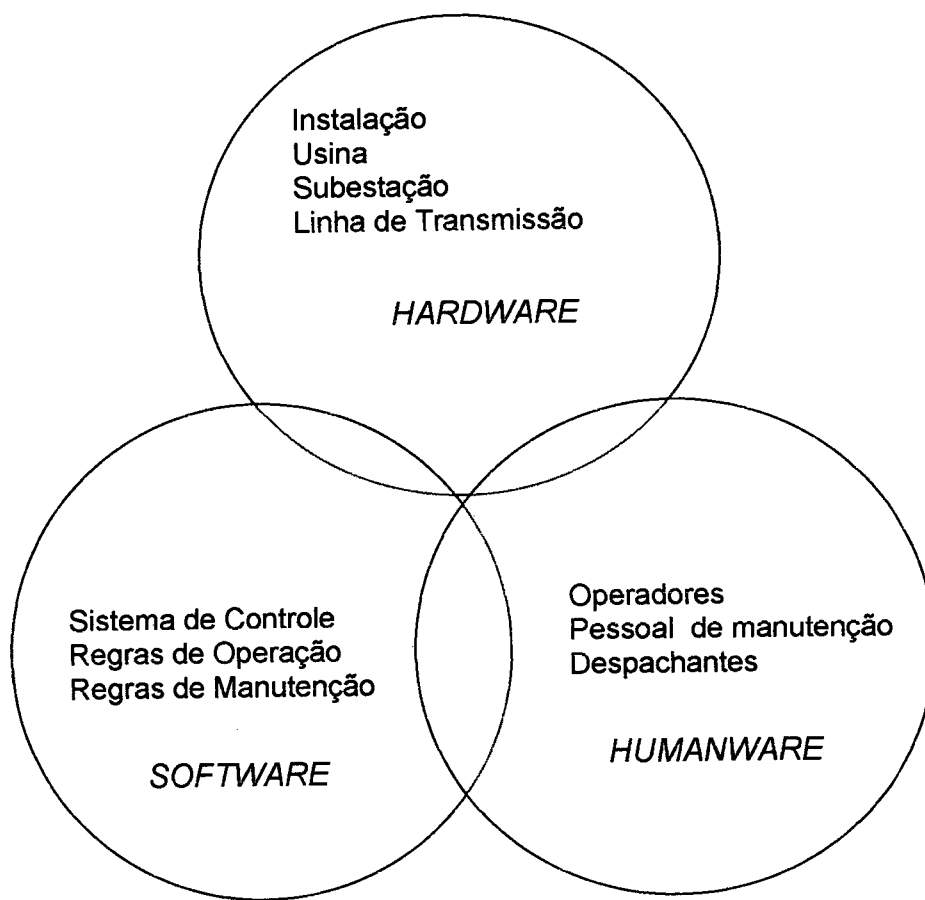
Figura 4 - Sistema homem-máquina

Do lado homem, as funções cognitivas representam o conhecimento humano, as funções motoras suas ações, os sistemas sensores seus órgãos dos sentidos. Do lado máquina temos os mostradores (*displays*) que são a informação de saída da máquina, os controles, que são a informação de entrada da máquina e os mecanismos da máquina, que desempenham a tarefa e determinam o estado.

Quando componentes, tais como lâmpadas, relés e outros são substituídos em um equipamento, são elementos humanos que o fazem, para que o sistema continue funcionando. Portanto todos os sistemas de equipamentos são sistemas homem-máquina, embora o grau interação varie muito de um sistema a outro. (Moraes, 1998, p.21)

É no lado homem desta interface que se ocorre a maioria dos problemas, e não no lado máquina. No lado homem incluem-se filosofia, estrutura organizacional, condições de trabalho, procedimentos, qualificação profissional e treinamento. Existem evidências de que os erros humanos sejam responsáveis por 50% das paradas forçadas de instalações (Castro, 1996, p.118).

Uma Central Hidrelétrica é parte de um sistema elétrico de potência. Este, por sua vez, é composto de *hardware*, *software* e *humanware*. *Hardware* são equipamentos como transformadores, disjuntores e linhas de transmissão. *Software* são os métodos de operação e manutenção, regras de operação e regras de manutenção. *Humanware* são as pessoas trabalhando para o sistema de potência, tais como operadores, pessoal de manutenção e engenheiros de sistemas (Kawamura et al, 1994, p.1). A figura 5 mostra o inter-relacionamento entre estes componentes do sistema.



Fonte: Kawamura et al. (1994, p.1)

Figura 5 - Relação entre hardware, software e humanware.

Para o estudo dos erros humanos, o conceito de sistemas traz as seguintes premissas, segundo Proctor e Van Zandt apud Krantz (Internet):

- a) O usuário ou operador é parte do sistema.
- b) Os objetivos do sistema são conhecidos.
- c) Os sistemas são usualmente hierárquicos.
- d) Tanto os sistemas como os componentes têm entradas (*inputs*) e saídas (*ouputs*).
- e) A estrutura do sistema é conhecida.
- f) Deficiências no desempenho do sistema são resultados das deficiências de um ou mais componentes.
- g) O sistema é parte do ambiente maior.

Devem ser considerados também os níveis de interação em um sistema homem-máquina (Kantowitz e Sorkin apud Krantz, Internet):

a) Pessoa fornece força e controle:

- Exemplo: uma pá
- O sistema permanece inativo sem a pessoa usá-lo.

b) Máquina fornece força; pessoa fornece o controle:

- Exemplo: solda
- O equipamento opera sem o ser humano, mas não vai realizar nada.
- Sem o ser humano o sistema é muito perigoso pela falta de controle.

c) Máquina fornece força e informação; pessoa ainda controla:

- Exemplo: maioria das fábricas
- O sistema pode funcionar até certo ponto por si próprio. Necessita constante monitoramento uma vez que não possui controle.
- Possui, então, um baixo nível de automação.

d) Máquina fornece força, informação e controle; pessoa monitora:

- Exemplo: Boeing 757/767 e outras aeronaves avançadas quando o piloto automático está ligado.
- São sistemas altamente automatizados.
- O ser humano, atuando apenas como supervisor da máquina, desempenha um papel de detetor de erros.
- Se seu papel é muito pequeno, o ser humano sente-se irrelevante ou não envolvido, e isto pode favorecer a ocorrência de erros humanos.

Segundo Li, Yiqun e Zhiliang (1996, p.21) é difícil dar uma definição apurada de Sistemas Complexos Homem-Máquina (*Complex Man-Machine Systems – CMMS*), devido à sua diversidade, porém suas principais características podem ser descritas como:

- a) complexidade da interface homem-máquina: uma variedade de interfaces homem-máquina; tipos de pessoas variáveis (maior número ou maior variedade);
- b) complexidade das informações: variedade do modo de apresentação de informações; uma grande quantidade de informações; mudanças rápidas;

- c) complexidade dinâmica: múltiplos níveis e relativa complexidade do sistema; combinação e sobreposição de situações anormais; rápido retorno de operações de controle;
- d) complexidade ambiental; inclusive física; organizacional, social, psicológica; ambiente externo e interno;
- e) complexidade operacional: características peculiares do sistema (monitoramento, julgamento, controle); carga de operação de emergência muito maior que a carga em estado normal. Centrais elétricas, instalações químicas modernas, aviões e trens são típicos CMMSs.

Li, Yiqun e Zhiliang (1996, p.21) informam que muitas pesquisas indicam que, à medida em que os equipamentos se tornam mais confiáveis num sistema homem-máquina, os erros humanos contribuem relativamente mais para os problemas de sistemas. Da mesma forma, equipamentos mais complexos tendem a provocar aumento no número de falhas humanas.

2.3 Erros Humanos

Existem muitas definições para erro humano. A seguir estão as mais significativas de diferentes pontos de vista, conforme Li, Yiqun e Zhiliang (1996, p.21):

- a) Para a ergonomia, o erro humano é definido como a falha do homem em desempenhar sua função intrínseca, o que pode reduzir as funções do sistema homem-máquina.
- b) Para a engenharia de confiabilidade, é definido como a falha em desempenhar suas funções e tarefas no tempo e condições prescritas.
- c) Para Reason apud Li, Yiqun e Zhiliang (1996, p.21), erro é psicologicamente definido como o termo genérico que engloba todas as ocasiões em que a falha não pode ser atribuída à intervenção de algum agente.

Kantowitz e Sorkin (1983, p. 31) definem erro como uma ação que viola alguns limites de tolerância de um sistema. Acrescentam ainda que os sistemas variam

assim como os limites que definem a ação correta e, portanto, aquilo que poderia ser um sério problema em um sistema pode não causar nenhum problema em um sistema melhor. Ressaltam ainda que o termo **erro humano** não implica nada de mau sobre o executante do serviço. A ocorrência de um erro humano não implica que o operador seja estúpido, preguiçoso ou descuidado. A maioria dos erros são devidos a falhas do sistema e não da pessoa.

2.3.1 Tipos de erros humanos

Existem muitas maneiras de organizar e classificar erros humanos. Nenhuma é perfeita e todas obrigam a alguma decisão subjetiva. Porém é necessária alguma classificação para organizar os dados de forma a conseguir-se compreender e corrigir as fontes dos erros.

A primeira classificação proposta por Kantowitz e Sorkin (1983, p. 32) divide os erros em: **intencionais** e **não-intencionais**. Um técnico que deliberadamente usa um instrumento com uma finalidade diferente da especificada comete um erro intencional. Já o técnico que inadvertidamente conecta o pino de teste do instrumento no plug errado comete um erro não intencional. Para Reason apud Viller et al. (1999,p.671) isto seria chamado de **erro** e **violação**.

Mac Donald et al (1997, p.58) usam a mesma classificação e acrescentam uma subdivisão das intencionais em culposas e dolosas. Culposa é aquela em que não há intenção de causar danos e dolosa é aquela onde existe dolo ou intenção consciente de causar dano. Reason apud Mac Donald et al (1997, p.58) usa os termos violação e sabotagem. Este trabalho não aborda a questão da sabotagem.

Existe uma aparente dificuldade inicial em compreender que um erro (na nomenclatura de Reason, uma violação) possa ser intencional porém sem o objetivo de provocar danos. Porém em tarefas complexas em áreas industriais os procedimentos são também complexos e nem sempre bem compreendidos ou aceitos como os melhores ou mais seguros. Mac Donald et al (1997, p.59) afirmam

que é impraticável a absoluta conformidade com os procedimentos, e apenas na situação ideal o engenheiro não se desvia dos procedimentos e, presumivelmente, reduz as taxas de acidentes drasticamente. Na realidade, acrescentam Mac Donald et al (1997, p.59), no ambiente de chão de fábrica existem evidências de que o cumprimento rigoroso dos procedimentos afeta negativamente a produtividade. Ademais, existem situações em que o pessoal de comando aprova tacitamente a não-conformidade com um procedimento ou o seu abrandamento, especialmente sob pressões comerciais, de tempo ou de deficiência de mão-de-obra. Para que a área de manutenção execute sua função mais economicamente em relação ao tempo, esforços e uso dos recursos materiais e financeiros, as organizações requerem continuamente dos participantes a busca de pontos onde o trabalho prático e os procedimentos possam ser melhorados. Por outro lado, a natureza legal dos procedimentos os torna altamente inflexíveis. O profissional é literalmente proibido de usar sua habilidade profissional ou julgamento para seguir o procedimento ao pé da letra, independente de sua praticidade. Estes são os estreitos limites onde atua o profissional de manutenção.

Outra classificação proposta por Kantowitz e Sorkin (1983, p.32) refere-se aos custos dos erros. Porém devido à grande variabilidade possível, eles preferem simplificar esta classificação considerando apenas duas categorias: erros **recuperáveis** e erros **irrecuperáveis**. Erro recuperável é aquele que tem o potencial de causar danos, porém, devido à sorte ou a um bom projeto ergonômico que antecipe possíveis erros, nada sério acontece realmente. Erro irre recuperável é aquele onde não é possível evitar as sérias conseqüências. Os erros recuperáveis não devem ser ignorados pois revelem inadequações do projeto (do equipamento ou do processo). O erro recuperável de hoje pode ser o desastre de amanhã.

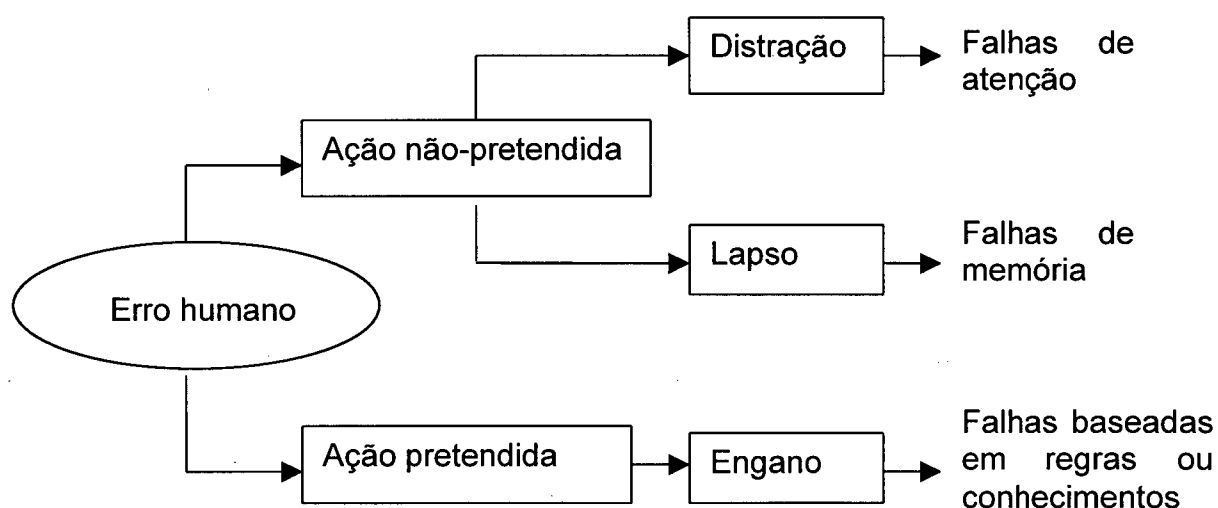
Swain e Guttman apud Kantowitz e Sorkin (1983, p.32) dividem os erros em cinco categorias:

- a) erro por omissão;
- b) erro por ação;
- c) erro por ato externo;

- d) erro seqüencial; e
- e) erro de tempo

Um erro por **omissão** ocorre quando alguém salta uma etapa de uma tarefa. Um erro por **ação** ocorre quando alguém executa uma tarefa incorretamente. Os três outros erros são tecnicamente erros por ação, mas são importantes o suficiente para justificar categorias próprias. Erro por **ato externo** ocorre quando uma tarefa não deveria ser executada porque desvia a atenção do sistema homem-máquina, criando condições potenciais para danos. Um erro **seqüencial** ocorre quando uma tarefa é executada fora de seqüência. Um erro de **tempo** ocorre quando uma ação é executada muito cedo, ou muito tarde ou fora do tempo permitido.

Li, Yiqun e Zhiliang (1996, p.22), utilizando o conceito de Reason, propõem a taxinomia apresentada na figura 6.



Fonte: Li, Yiqun e Zhiliang (1996, p.22)

Figura 6 - Taxinomia de erros humanos

Segundo Stanton (1999, Internet), a diferença entre distração, lapso e engano pode ser relacionada ao sistema humano de processamento de informação. Erros de interpretação ou da escolha de intenções são chamados **enganos**. Bem diferentes

destes são as **distrações**, na qual a compreensão da situação é correta, a intenção correta é formulada, mas a ação errada é acidentalmente produzida. Enquanto **distrações** representam a ocorrência de uma ação alternativa (e incorreta), os **lapsos** representam a falha em produzir uma ação.

Enganos são, então, tipicamente erros de formulação de planos, enquanto distrações e lapsos são tipicamente erros de execução. A maioria das falhas de manutenção, segundo Kirwan (1998, p.158), são devidas a distrações e lapsos, o que é esperado considerada a natureza predominantemente de execução da manutenção.

Para Rasmussen apud Viller et al. (1999, p.665), **distrações** e **lapsos** devem ser entendidos em termos de **habilidades** pré-existentes, enquanto **enganos** referem-se à aplicação inapropriada de **regras** ou **conhecimento** prévio, conforme tabela 2.

Tabela 2 - Erros e violações baseados em habilidades, regras e conhecimentos

Nível de Desempenho	Tipo de erro	Tipo de Violação
Baseado em habilidade	Distrações e lapsos	Rotina e otimização
Baseado em regras	Enganos baseados em regras	Situacional
Baseado em conhecimento	Engano baseado em conhecimento	Excepcional

Fonte: Reason apud Viller et al. (1999,p.672)

Reason apud Viller et al. (1999,p.665) define **violações** como desvios dos processos, práticas, procedimentos, normas ou regras seguras de operação. Há muitos motivos diferentes para as violações. Elas não ocorrem simplesmente pela negligência dos operadores, embora algumas vezes isto ocorra. Violações se relacionam com questões organizacionais tais como: a natureza do local de trabalho; a qualidade das ferramentas e equipamentos; se os supervisores e gerentes fazem olho-cego a violações para conseguirem que o trabalho seja feito; a qualidade do processo, regras, regulamentos e procedimentos operacionais; e a cultura de segurança da organização. A tabela 3 compara erros e violações, de maneira a evidenciar as diferenças.

Tabela 3 - Comparação de erros e violações

Erros	Violações
Origem principalmente relacionada à informação (informação incorreta ou incompleta leva ao erro)	Origem principalmente relacionada à motivação (certas atitudes, normas sociais ou a cultura organizacional encorajam a violação)
Erros são não-intencionais	Violação são tipicamente deliberadas (intencionais) .
Podem ser explicados em termos de características individuais de processamento de informações.	Devem ser entendidas em relação ao contexto social .
Erros podem ser remediados melhorando as informações relevantes .	Violações somente podem ser remediadas pela mudança de atitudes, normas sociais e cultura organizacional .

Fonte: Reason apud Viller et al. (1999,p.672)

Portanto, existem diversos estudos que esclarecem a forma como os erros ocorrem. No entanto a maioria das empresas não aplica estes conhecimentos para melhorar sua confiabilidade.

2.3.2 Por que as organizações têm dificuldade em aprender com os erros humanos?

Johnson (1999, p.518) informa que as investigações de grandes acidentes como o da plataforma petrolífera de Piper Alpha, em 1988 (Anexo 3), o do ônibus espacial Challenger, em 1986 (Anexo 4), o de Hillsborough Stadium, em 1989 e o de Narita, em 1994, enfocaram a atenção nos fatores gerenciais em vez da contribuição individual mediante ações errôneas. Segundo Reason apud Johnson (1999, p.518), o foco mudou do desempenho individual para o ambiente organizacional que cria oportunidades latentes para a falha.

Existem **três mitos** (Johnson, 1999, p.518) que explicam porque as pesquisas acadêmicas têm tido apenas impacto marginal na prevenção de falhas humanas. Estes mitos são descritos a seguir.

- a) **O erro humano é inevitável.** Com esta visão os usuários oportunamente recusarão qualquer salvaguarda e medidas de proteção individual e ambiental.
- b) **O erro humano não pode ser previsto.** É difícil antecipar as muitas maneiras pelas quais a desatenção e a fadiga ameaçam a segurança. Mas muitos estudos têm mostrado que é possível prever e remover muitas das condições locais que criam a oportunidade para que a desatenção e a fadiga levem a consequências desastrosas.
- c) **A prevenção do erro humano é muito cara.** Com esta visão as forças do mercado impedem as companhias de empregar as técnicas de análise e prevenção que reduzem a contribuição humana aos maiores acidentes. Porém o acidente do navio Exxon Valdez custou 3,5 bilhões de dólares. Quaisquer formas de prevenção teriam custado uma pequena parcela deste valor.

Existem nas empresas nove barreiras para o uso da análise de erros humanos nas empresas (Johnson, 1999, p.519-522):

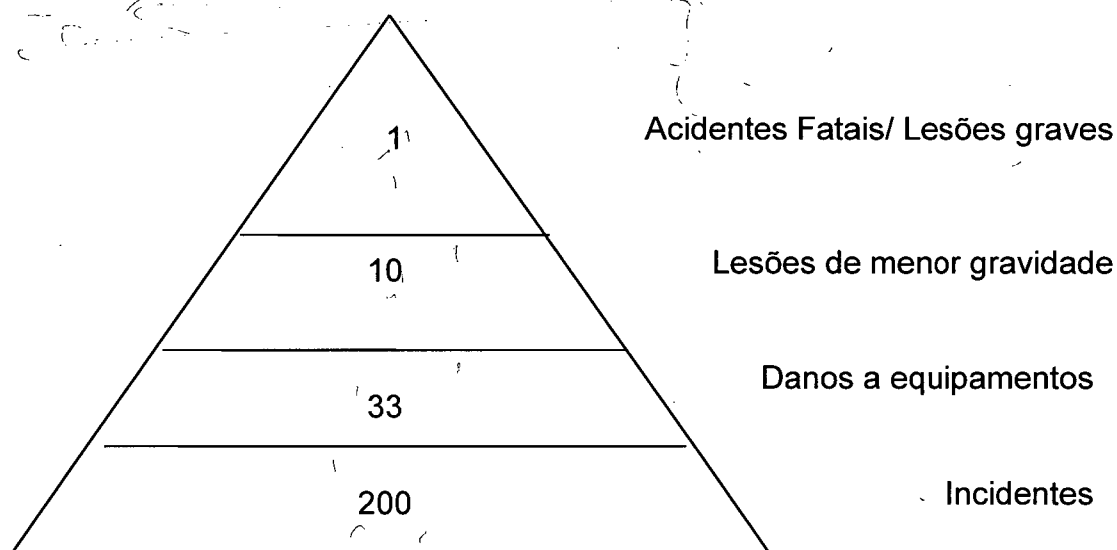
- a) falta de padrões e métodos;
- b) a confiança na interpretação subjetiva;
- c) pouco apoio a predições em tempo real;
- d) pouco apoio a predições na época do projeto;
- e) foco em acidentes e não em incidentes;
- f) foco em usuários e sistemas individuais;
- g) foco na operação e não na regulamentação;
- h) falta de integração entre análise contextual e análise de especificações; e
- i) pouca preocupação com o erro humano durante a análise de especificações.

De particular interesse para o estudo em questão é o problema do foco em acidentes em vez de incidentes. Muitas pesquisas têm aplicado os modelos de erros humanos a acidentes bem conhecidos. Este trabalho também começou desta forma. Este é um artifício de retórica que conta com o fato de que os leitores estarão familiarizados com os detalhes do acidente devido a pesquisas anteriores ou à mídia. Também ajuda a convencer os leitores que os modelos capturam propriedades significativas dos acidentes do mundo real. Porém esta tática traz

outros problemas. A maioria dos erros humanos traz pequenas conseqüências, com alguma perda na produção, mas raramente levam à perda de vidas ou catástrofes na escala dos acidentes analisados na literatura. As empresas parecem estar mais preocupadas com os custos de produção de incidentes de alta freqüência e baixo impacto do que com erros catastróficos de freqüência muito baixa.

Uma preocupação adicional é que os incidentes são extraídos de um sistema industrial de relatórios. Ainda que estes possam ser mais típicos das falhas de todos os dias que daquelas analisadas em estudos de caso de incidentes, tais relatórios sabidamente produzem uma visão parcial dos erros humanos que afetam muitos operadores. (Johnson, 1999, p.521). É a questão, já levantada na introdução deste trabalho, de que os dados são difíceis de obter e representam, na realidade, uma amostra, cujo tamanho da população desconhecemos.

Uma maneira tradicional, porém nem sempre eficaz, de convencer gerentes e usuários a tratar os incidentes pelo menos com o mesmo grau de atenção que os acidentes é divulgar uma **pirâmide de acidentes**, como mostrado na figura 7.



Fonte: ESSO (199-, p.1)

Figura 7 - Pirâmide de Acidentes

Esta pirâmide mostra na base os incidentes e no topo os acidentes fatais. A idéia a transmitir é que a pirâmide estatisticamente prova que um número elevado de incidentes é um indício de que haverá, eventualmente, um acidente fatal.

Algumas empresas implantam programas de incentivo ou recompensa para evitar acidentes e incidentes. Segundo Atkinson (2000, p.32), usualmente estes programas possuem um dos seguintes formatos: tradicional, baseado no comportamento e não-tradicional.

Os programas **tradicionais** oferecem recompensas ou reconhecimento a empregados que permanecem um certo período de tempo sem registrar nenhum acidente. O foco é nos **resultados**.

Os programas **baseados em comportamento** oferecem recompensas ou reconhecimento aos empregados que adotam determinados comportamentos (levantar peso apropriadamente ou usar Equipamentos de Proteção Individual) que supostamente levam a resultados positivos com relação à prevenção de acidentes.

Os programas **não-tradicionais** oferecem recompensas ou reconhecimento a empregados que participam em atividades específicas, tais como propor sugestões ou participar em projetos que ao final melhorem o desempenho da organização em termos de segurança. O foco é em **atividades**.

Os padrões ergonômicos propostos pela OSHA (*Occupational Safety and Health Administration* - Administração de Segurança e Saúde Ocupacional – órgão federal americano responsável por saúde ocupacional, segurança e acidentes do trabalho) não recomendam programas que desencorajam o registro de acidentes e alertam que programas que premiam, de alguma forma, a equipe que tiver baixo índice de acidentes relatados pressionam indiretamente os trabalhadores a não relatar, intencionalmente ou não, os acidentes. Algumas empresas que usam incentivos tradicionais vêem uma redução em seu número total de acidentes relatados ao OSHA, mas continuam com os mesmos índices de acidentes graves e taxas de mortalidade (Atkinson, 2000, p.33).

Empresas que estão realmente comprometidas a reduzir acidentes e aumentar a segurança trabalham no sentido de garantir que sejam relatados quaisquer

acidentes (e mesmo incidentes de menor importância) para identificar tendências e prevenir recorrências. Programas de incentivo que desencorajem o relato de incidentes menores privam a empresa de valiosa informação (Atkinson, 2000, p.33).

Desta forma, conclui-se que deve-se trabalhar de forma preventiva, porém deve-se cuidar quanto à forma de incentivar a prevenção. Premiar apenas resultados, sem atenção ao processo, pode ser o caminho para desacreditar o sistema de prevenção.

2.4 Motivação

O trabalho de manutenção não pode ser controlado e supervisionado da mesma maneira que o trabalho de produção (Kelly, 1989, p.293). Pela natureza de suas tarefas, o supervisor de manutenção é um dos poucos trabalhadores de chão de fábrica que ainda tem uma considerável autonomia sobre suas ações e decisões do dia-a-dia. É difícil verificar até que ponto uma manutenção preventiva de rotina foi bem realizada. Também é difícil julgar até que ponto um reparo (uma manutenção corretiva) foi bem realizado e, às vezes, se o método usado foi o melhor, do ponto de vista da empresa. É importante que o objetivo da manutenção seja expresso em termos que tenham significado para o supervisor de forma que ele tenha uma base para sua própria decisão e seja capaz de utilizar seu tempo da forma mais eficiente. O supervisor será motivado se souber o que é esperado dele e fará o possível para atingi-lo.

Eficiência refere-se a fazer corretamente as coisas e da melhor maneira possível (*the best way*). A eficácia se refere ao alcance dos objetivos e tem a atenção voltada aos aspectos externos da organização (Chiavenato, 1987, p.531). Dito de outra forma, eficiência é fazer de maneira certa as tarefas, eficácia é fazer a tarefa certa (que deve ser feita).

Uma das dificuldades de criar uma organização eficaz é que embora os objetivos do indivíduo e da organização possam ser compatíveis, suas necessidades podem não ser. De um lado, a **teoria clássica** sugere que o trabalho seja dividido em unidades simples, cada uma com poucos movimentos, e com isso facilitando a especialização, e o trabalhador sendo motivado monetariamente. Por outro lado, a **teoria comportamental** sugere que tais arranjos são inimigos da saúde psicológica. Numerosos estudos foram conduzidos para identificar aqueles fatores na situação industrial que promovem a geração de uma força de trabalho satisfeita e motivada.

As teorias mais elaboradas sobre motivação são as de Maslow e Hersberg, apresentadas a seguir.

2.4.1 A hierarquia das necessidades de Maslow

Maslow apud Chiavenato (1987, p.120) apresenta a hierarquia das necessidades, segundo a qual as necessidades humanas estão organizadas em níveis de importância. Esta hierarquia pode ser visualizada na forma de uma pirâmide, que tem na base as necessidades mais baixas (fisiológicas) e no topo as necessidades mais altas (necessidades de auto-realização), conforme a figura 8.



Fonte: Chiavenato (1987, p.120)

Figura 8 - Hierarquia das necessidades de Maslow

Para Maslow, as necessidades podem ser divididas em duas grandes categorias: necessidades primárias e necessidades secundárias.

As necessidades primárias são aquelas que se referem à própria sobrevivência do indivíduo e são as seguintes:

- a) Necessidades fisiológicas: são as necessidades mais elementares do ser humano, mas de vital importância. Nesta classe estão as necessidades de alimentação, sono e repouso, abrigo ou desejo sexual. As necessidades fisiológicas se relacionam com a sobrevivência do indivíduo e a preservação da espécie. Estas necessidades já nascem com o indivíduo. Quando alguma dessas necessidades não está satisfeita, ela determina o comportamento humano. Um homem faminto não terá outra preocupação ou meta maior que alimentar-se. Porém quando comer e alimentar-se, a fome deixa de ser o fator determinante de sua motivação.
- b) Necessidades de segurança ou de estabilidade representam a busca de proteção contra a ameaça ou privação. Afetam o comportamento quando as necessidades fisiológicas estão relativamente satisfeitas. Quando o indivíduo é orientado pelas necessidades de segurança, estas funcionam como determinantes quase exclusivos de seu comportamento. As necessidades de segurança requerem uma atenção especial no ambiente empresarial devido à sua importância no comportamento humano. Todo empregado sente-se em relação de dependência à empresa. Se as ações ou decisões da empresa são interpretadas pelos empregados como favoritismo ou como indício de falta de previsibilidade, as necessidades de segurança tornam-se determinantes e podem gerar insegurança em todos os níveis hierárquicos da empresa.

Uma vez satisfeitas as necessidades primárias, as necessidades secundárias passam a ser determinantes no comportamento humano. São as seguintes as necessidades secundárias:

- a) Necessidades sociais que surgem no comportamento quando as necessidades inferiores na escala estão satisfeitas. São sociais as necessidades de associação, participação, aceitação pelo grupo, amizade, afeto, amor. A falta de satisfação das necessidades sociais torna o indivíduo resistente, antagônico e hostil com relação ao seu grupo social ou de trabalho. A frustração das necessidades de amor e de afeição conduzem à falta de adaptação e à solidão.

- b) Necessidades de estima são aquelas relacionadas com a maneira pela qual o indivíduo se vê e avalia. São elas a auto-apreciação, autoconfiança, aprovação social e respeito, status, prestígio e consideração. Também o desejo de força e de adequação, de confiança perante o mundo, independência e autonomia são necessidades de estima. A falta de satisfação destas necessidades pode produzir sentimentos de inferioridade, fraqueza, dependência e desamparo que levam ao desânimo ou a atividades compensatórias.
- c) Necessidades de auto-realização são as mais elevadas. São as necessidades que os seres humanos têm, após satisfeitas em grau razoável todas as suas necessidades situadas abaixo na hierarquia, de desenvolver todas suas habilidades. É o desejo de superar-se.

Em resumo, como apresenta Kelly (1989, p.294), a teoria de Maslow afirma que, quando a primeira necessidade, segurança no emprego e renda suficiente, é satisfeita, a atenção dos empregados volta-se às necessidades sociais; isto é, aceitação pelo grupo social. Quando estas necessidades são atendidas, sua atenção volta-se para aqueles atributos e habilidades que acredita que outros reconheçam, ou seja, a auto-estima. Depois vem o desejo de autonomia, a oportunidade de ser seu próprio patrão, e por uma correspondente redução nas restrições à liberdade individual impostas por um superior imediato. Por fim, e dificilmente alcançado, vem o auto-reconhecimento, o máximo desenvolvimento no trabalho de todas as habilidades e atributos individuais. A abordagem de Maslow, acrescenta Kelly (1989, p.294), é simplificada porém fornece um esquema útil para avaliar a situação industrial da forma como afeta o indivíduo.

2.4.2 Teoria dos dois fatores de Herzberg

Frederick Herzberg apud Chiavenato (1987, p.126) apresentou a teoria dos dois fatores para explicar o comportamento das pessoas em situações de trabalho. Segundo Herzberg, existem dois fatores que determinam o comportamento das pessoas, conforme mostrados na tabela 4 e explicados na sequência.

Tabela 4 - Fatores Motivacionais e Fatores Higiênicos

FATORES MOTIVACIONAIS (Satisfacientes)	FATORES HIGIÊNICOS (Insatisfacientes)
Conteúdo do cargo (Como o indivíduo se sente em relação a seu cargo)	Contexto do Cargo (Como o indivíduo se sente em relação à sua empresa)
1. O trabalho em si. 2. Realização 3. Reconhecimento 4. Progresso profissional 5. Responsabilidade	1. As condições de trabalho 2. Administração da empresa 3. Salário 4. Relações com o supervisor 5. Benefícios e serviços sociais

Fonte: Sikula apud Chiavenato (1987, p. 128)

a) Fatores higiênicos

Também chamados de fatores extrínsecos: são aqueles que se localizam no ambiente e, portanto, estão fora do controle dos indivíduos. Os principais fatores higiênicos são: o salário, os benefícios sociais, o tipo de gerência ou supervisão recebida, as condições físicas e ambientais do local, as políticas e diretrizes da empresa, o relacionamento entre a empresa e as pessoas que nela trabalham e os regulamentos internos.

Os fatores higiênicos são fatores de contexto e se situam no ambiente que circunda o indivíduo. Para Herzberg, tradicionalmente apenas os fatores higiênicos eram considerados na motivação dos empregados: o trabalho é considerado uma atividade desagradável e, para fazer com que as pessoas trabalhassem mais, é necessário o apelo a prêmios e incentivos externos ao indivíduo. Porém as pesquisas de Herzberg demonstraram que, quando os fatores higiênicos são ótimos, a insatisfação dos empregados é apenas evitada, pois estes fatores não conseguem elevar muito a satisfação e quando o fazem, não conseguem sustentá-la por muito tempo. Porém quando os fatores higiênicos são precários, eles provocam a insatisfação dos empregados. Devido a esta tendência voltada à insatisfação é que Herzberg os chama de fatores higiênicos, pois são profiláticos ou preventivos: não provocam a satisfação, apenas evitam a insatisfação. Herzberg também usa o termo fatores **insatisfacientes** por estarem mais ligados à insatisfação.

b) Fatores motivacionais

Também chamados de fatores intrínsecos, por estarem relacionados ao conteúdo do cargo e à natureza das tarefas que o indivíduo executa. Os fatores motivacionais incluem os sentimentos de crescimento individual, de reconhecimento profissional e as necessidades de auto-realização e dependem das tarefas que o indivíduo realiza em seu trabalho. Como tradicionalmente as tarefas e os cargos têm sido definidos com a única preocupação em atender aos princípios de eficiência e economia, com pouca ou nenhuma preocupação em atender aos desafios e oportunidades para a criatividade individual, passam a ter efeito de desmotivação, provocando a apatia, o desinteresse e a falta de sentido psicológico.

As pesquisas de Herzberg demonstraram que o efeito dos fatores motivacionais sobre o comportamento das pessoas é mais profundo e estável. Quando são ótimos, os fatores motivacionais provocam a satisfação, quando são precários evitam a satisfação. Por estarem ligados à satisfação, são também chamados de fatores satisfacientes.

2.4.3 Teoria X e Y de McGregor

McGregor, clássico autor comportamentalista da Administração, comparou dois estilos opostos e antagônicos de administrar: o estilo baseado na teoria tradicional, mecanicista e pragmática (por ele chamado de Teoria X) e o estilo baseado nas concepções modernas a respeito do comportamento humano (por ele chamado de Teoria Y).

A tabela 5 sintetiza as concepções quanto à natureza humana, segundo a Teoria X e Teoria Y.

Tabela 5 - Teoria X e Teoria Y

Diferentes concepções a respeito da natureza humana

PRESSUPOSIÇÕES DA TEORIA X	PRESSUPOSIÇÕES DA TEORIA Y
<ul style="list-style-type: none">• As pessoas são preguiçosas e indolentes.• As pessoas evitam o trabalho.• As pessoas evitam a responsabilidade, a fim de se sentirem mais seguras.• As pessoas precisam ser controladas e dirigidas.	<ul style="list-style-type: none">• As pessoas são esforçadas e gostam de ter o que fazer.• O trabalho é uma atividade tão natural como brincar ou descansar.• As pessoas procuram e aceitam responsabilidades e desafios.• As pessoas podem ser automotivadas e autodirigidas.• As pessoas são criativas e competentes.

Fonte: Chiavenato (1987, p. 138)

Para Macgregor apud Chiavenato (1987, p. 136), a Teoria X é a concepção tradicional da Administração e se baseia em concepções errôneas e incorretas sobre o comportamento humano, como:

- a) O homem é indolente e preguiçoso, por natureza: ele evita o trabalho ou trabalha o mínimo possível, em troca de recompensas salariais ou materiais.
- b) Falta-lhe ambição: não gosta de assumir responsabilidades e prefere ser dirigido e sentir-se seguro nesta dependência.
- c) O homem é fundamentalmente egocêntrico e seus objetivos pessoais opõem-se, em geral, aos objetivos da organização.
- d) A própria natureza o leva a resistir às mudanças, pois procura segurança e pretende não assumir riscos que o ponham em perigo.
- e) A sua dependência o torna incapaz de autocontrole e autodisciplina: ele precisa ser dirigido e controlado pela administração.

Estas concepções e premissas a respeito da natureza humana levam a um estilo de administração duro, rígido e autocrático. As pessoas são vistas como meros recursos ou meios de produção.

A Administração, pela Teoria X, se caracteriza pelos seguintes aspectos:

- a) A Administração é responsável pela organização dos recursos da empresa (dinheiro, materiais, equipamentos e pessoas) no interesse exclusivo de seus objetivos econômicos.
- b) A Administração é um processo de dirigir os esforços das pessoas, incentivá-las, controlar suas ações e modificar o seu comportamento para atender às necessidades da empresa.
- c) Sem esta intervenção ativa por parte da direção, as pessoas seriam totalmente passivas em relação às necessidades da empresa, ou mesmo, resistiriam a elas. As pessoas, portanto, devem ser persuadidas, recompensadas, punidas, coagidas e controladas: as suas atividades devem ser padronizadas em direção aos objetivos e necessidades da empresa.
- d) Como as pessoas são primariamente motivadas por incentivos econômicos (salários), a empresa deve utilizar a remuneração como um meio de recompensa (para o bom trabalhador) ou de punição (para o empregado que não se dedique suficientemente à realização de sua tarefa).

A Teoria X, enfim, representa o estilo de administração tal como foi estabelecido pela Administração Científica de Taylor, pela Teoria Clássica de Fayol e pela Teoria da Burocracia de Weber.

Por outro lado, a Teoria Y é a moderna concepção da Administração, segundo a Teoria Comportamental. A Teoria Y se baseia em concepções e premissas atuais e sem preconceitos a respeito da natureza humana, como:

- a) O homem médio não tem desprazer inerente em trabalhar. Dependendo das condições controláveis, o trabalho pode ser uma fonte de satisfação e de recompensa (quando é voluntariamente desempenhado) ou uma fonte de punição (quando é evitado sempre que possível pelas pessoas). A aplicação do esforço físico ou mental em um trabalho é tão natural quanto jogar ou descansar.
- b) As pessoas não são, por sua natureza intrínseca, passivas ou resistentes às necessidades da empresa; elas podem tornar-se assim, como resultado de sua experiência negativa em outras empresas.

- c) As pessoas têm motivação básica, potencial de desenvolvimento, padrões de comportamento adequados e capacidade para assumir responsabilidades. O homem deve exercitar a autodireção e o autocontrole a serviço dos objetivos que lhe são confiados pela empresa. O controle externo e a ameaça de punição não são os únicos meios de obter a dedicação e o esforço de alcançar os objetivos empresariais.
- d) O homem médio aprende sob certas condições não somente a aceitar, mas também a procurar responsabilidade. A fuga à responsabilidade, a falta de ambição e a preocupação exagerada com a segurança pessoal são geralmente conseqüências da experiência insatisfatória de cada um e não uma característica humana inerente a todas às pessoas. Este comportamento não é a causa: é o efeito de alguma experiência negativa em alguma empresa.
- e) A capacidade de alto grau de imaginação e de criatividade na solução de problemas empresariais é amplamente – e não escassamente – distribuída entre pessoas. Sob certas condições da vida moderna, as potencialidades intelectuais do homem são apenas parcialmente utilizadas.

Com estas concepções e premissas a respeito da natureza humana, a Teoria Y preconiza um estilo de Administração muito aberto e dinâmico, extremamente democrático, através do qual administrar é um processo de criar oportunidades, liberar potencialidades, remover obstáculos, encorajar o crescimento individual e proporcionar orientação quanto a objetivos.

Assim a Administração, segundo a Teoria Y, se caracteriza pelos seguintes aspectos:

- a) A motivação, o potencial de desenvolvimento, a capacidade de assumir responsabilidade, de dirigir o comportamento para os objetivos da empresa estão presentes nas pessoas. Estes fatores não são criados nas pessoas pela administração. É responsabilidade da administração proporcionar condições para que as pessoas reconheçam e desenvolvam, por si próprias, estas características.

- b) A tarefa essencial da Administração é criar condições organizacionais e métodos de operações por meio dos quais as pessoas possam atingir melhor os seus objetivos pessoais, dirigindo seus próprios esforços em direção aos objetivos da empresa.

Na área de manutenção são encontrados indivíduos que podem ser classificados nos diversos degraus da pirâmide de Maslow, devido à estratificação do trabalho e, conseqüentemente, dos salários. Desta forma é importante que o supervisor e o analista de falhas compreendam o nível em que pode estar o executor de manutenção. Somente assim será possível um trabalho de conscientização que leve todos a preocuparem-se com a prevenção de falhas e não, como é comum atualmente, com a justificativa de falhas.

2.5 Trabalho em Equipe

A manutenção industrial é, em uma grande instalação industrial, uma das funções que mais dependem do trabalho em grupo. Diversas especialidades técnicas estão envolvidas na solução de problemas em um mesmo equipamento ou sistema. Muitas vezes, equipes distintas têm de trabalhar em regime de turnos, ocasião em que a confiança mútua é um dos fatores-chave de sucesso. Por esta razão as soluções de problemas raramente ocorrem de iniciativas puramente individuais. Usualmente todos os problemas, técnicos ou gerenciais, são estruturados e resolvidos em reuniões. Desta forma a utilização de técnicas de grupo para solução de problemas é uma necessidade.

2.5.1 Técnicas de grupo para resolução de problemas

Técnicas de grupo que são instrumentos de apoio que procuram sistematizar as reuniões de modo a torná-las mais eficazes (Cossenza e Souza, 1995, p.1047). A tabela 6 mostra as principais técnicas de grupo para solução de problemas e suas respectivas finalidades.

Tabela 6 - Quadro de Técnicas de Grupo para Solução de Problemas

Nome da Técnica	Finalidade
Brainstorming	Explorar problemas de forma criativa através da geração de idéias.
Diagrama de Afinidade	Explorar problemas de forma criativa agrupando as idéias afins.
Diagrama de Inter-Relação	Mostrar relação de causa/efeito entre idéias geradas ou problemas diagnosticados.
Diagrama de Causa e Efeito	Discriminar causas de problemas agrupando-as dentro de fatores básicos.
Técnica P-N-I	Abordar uma idéia/solução analisando seus pontos positivos, negativos e interessantes.
Análise do Campo de Forças	Identificar as forças ativas e reativas que atuam em situação de mudança.
Método de TURIB/GUT	Avaliar causas de problemas identificando as mais relevantes.
Avaliação através de Check-List	Comparar alternativas através de um check-list (questionário de critérios)
Diagrama de Árvore	Indicar o caminho a ser seguido para alcançar o objetivo pretendido
ASP-Relâmpago	Desenvolver Planos de Ação para solução de problemas não-complexos
Técnicas de Grupo Nominal	Abranger todo o processo de tomada de decisão, desde a definição do problema até a seleção de alternativas
Diagrama Matricial	Identificar o poder de influência entre variáveis
Priorização com Base no Diagrama Matricial	Estabelecer prioridades entre itens através de Diagrama Matricial
Matriz de Prioridade	Priorizar alternativas através da ponderação entre critérios selecionados
Matriz Decisória	Selecionar alternativas com base na atribuição de pesos aos critérios.

Fonte: Cossenza e Souza (1995, p.1050)

Destas técnicas, este trabalho considera como mais importante para utilização na área de manutenção o *brainstorming*.

O *brainstorming* é provavelmente a técnica mais comentada, embora raramente usada com sua real conceituação. Os conceitos básicos do *brainstorming* foram

desenvolvidos na década de 1930 por Alex Osborn (Lloyd, 2000,Internet).

Seus princípios básicos são, segundo Alex Osborn (Lloyd, 2000,Internet), são:

- a) não existe má idéia;
- b) a livre expressão de todas as idéias é encorajada;
- c) busca-se a quantidade e não a qualidade das idéias;
- d) encoraja e desenvolve as idéias de todos no grupo.

Segundo Scholtes (1992, p.2-38), o objetivo de uma reunião de *brainstorming* é coletar idéias de todos os participantes, sem críticas ou julgamento e suas regras são as seguintes:

- a) incentivar todos a darem idéias, sem nenhuma rejeição;
- b) não discutir as idéias apresentadas;
- c) não fazer julgamentos nem críticas às idéias apresentadas;
- d) aceitar idéias surgidas como consequência de outras idéias apresentadas; e
- e) escrever todas as idéias apresentadas em um quadro visível para todos os participantes.

Enfim, pode dizer que o trabalho de equipe depende, para seu sucesso, mais de aplicação de técnicas apropriadas do que da simpatia entre seus elementos como afirma a crença popular.

2.6 Comunicação

A compreensão tanto da comunicação entre seres humanos quanto da comunicação homem-máquina é essencial para qualquer estudo sobre erros humanos, pois é na interface homem-máquina que ocorrem os erros. Há mais de trinta anos um ergonomista europeu definia ergonomia como “tecnologia das comunicações nos sistemas homens-máquinas” (Montmollin, 1990, p.36). Hoje, este modelo foi superado por não considerar a caixa-preta que é o cérebro humano, com seus raciocínios, estratégias e mecanismos de tratamento de informações. Estes

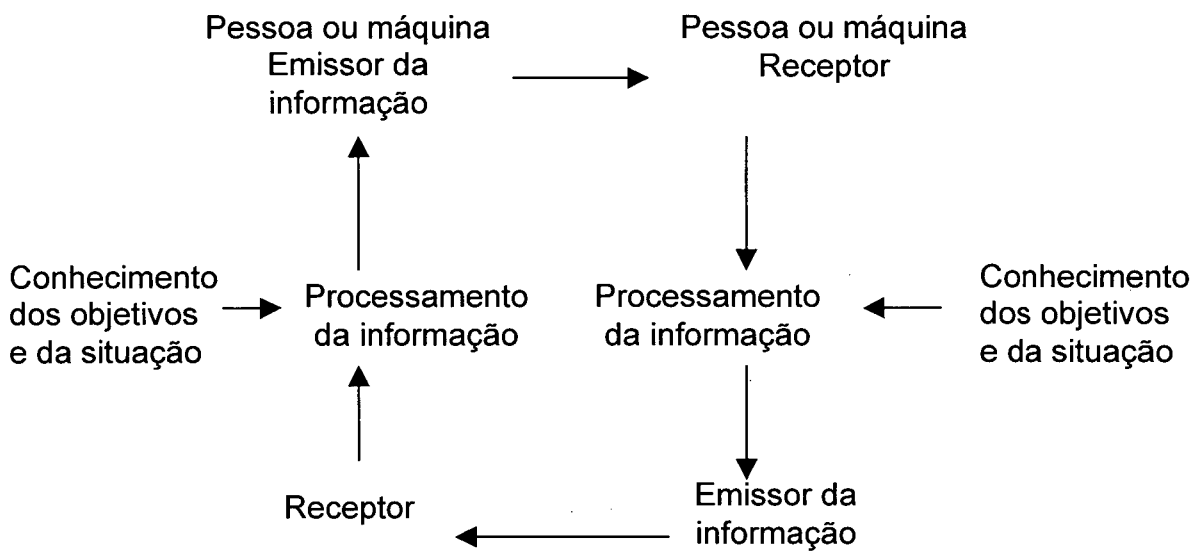
aspectos são abordados pela ergonomia cognitiva moderna. Os modelos atuais, oriundos da psicologia cognitiva permitem fazer hipóteses sobre procedimentos de resolução de problemas ou sobre a forma de aquisição de conhecimentos.

É importante, então, conhecer-se a forma como os sistemas inteligentes trabalham. Em primeiro lugar, eles devem ser capazes de **perceber** o que está acontecendo no mundo. Em segundo lugar devem guardar estas percepções na **memória**. Em terceiro, eles devem ser capazes de usar o conhecimento adquirido para **planejar** comportamentos apropriados. À medida em que tais planos são executados, os sistemas devem monitorar, mediante **realimentação (feedback)**, o quanto o plano está se aproximando dos objetivos. Em quarto lugar, eles devem ser capazes de **comunicar-se** para possibilitar a interação com outros agentes inteligentes. Em quinto e último lugar, eles devem ser capazes de **adaptar** estas atividades, mediante aprendizagem. (Bechman Institute, 2000, Internet).

Desta forma, é importante a compreensão da maneira como as pessoas se comunicam entre si e com máquinas com o objetivo de entretenimento, aprendizagem e realização de trabalho. Cartas, livros, televisão e dispositivos eletrônicos (como jogos e calculadoras) são exemplos típicos destas comunicações. No processo de comunicação deve-se reconhecer que numa transferência de mensagem há o emissor e o receptor de informação. Na seqüência desta transferência, o processo de recepção baseia-se no conhecimento, objetivos, e a situação do momento. Quando o processamento se completa, então o receptor usualmente troca de papel e torna-se um emissor de informação de volta à fonte original. Este simples círculo de troca de informações pode completar a comunicação; ou trocas adicionais podem ocorrer. O objetivo desta esquematização do processo de comunicação é considerar as várias necessidades do processo se a comunicação é pessoa-a-pessoa, máquina-a-pessoa, ou máquina-a-máquina e o papel dos mostradores (*displays*) no processo, conforme mostrado na figura 9.

Mostradores (*Displays*) aqui são definidos como dispositivos, não importa quão simples possam ser, que são usados pelo emissor de informação para comunicar

com um receptor humano. Uma página de um livro é um mostrador (*display*). Aqueles dispositivos usados pelos emissores humanos para máquinas receptoras são chamados controles (uma tentativa de inferir a supremacia humana). A principal distinção entre mostradores (*displays*) e controles está na capacidade de emissores e receptores de informação a ser comunicada. A maioria dos dispositivos de controle são também mostradores (*displays*) porque eles tipicamente fornecem informação a pessoas sobre a condição de controle tal como se um interruptor está ligado ou não.



Fonte: Kantowitz e Sorkin (1993, p.196)

Figura 9 - Diagrama Esquemático do processo de comunicação

Como exemplo das dificuldades de comunicação em empresas, cita-se uma pesquisa do *Electrical Power Research Institute* (EPRI) nos Estados Unidos (EPRI apud Bauman et al., 1986, p.273) que demonstrou a importância crítica da comunicação vertical e horizontal em usinas nucleares. O processo de ordens de serviço em uma usina elétrica é complexo e envolve neste processo muitas pessoas de diferentes níveis gerenciais e de diferentes áreas. Para que o processo de ordem de serviço seja eficiente é necessária uma boa interação e coordenação entre áreas. Uma das causas do acidente da plataforma petrolífera de Piper Alpha (Anexo 3) foi a falta de praticidade do sistema de ordens de serviço e o não cumprimento das normas vigentes.

O trabalho de Bauman et al. (1986, p.273) recomenda duas diferentes estratégias para melhorar a comunicação no processo de ordens de serviço:

- a) um sistema de ordem de serviço automatizado; e
- b) reuniões de coordenação de serviço;

As duas estratégias tornarão o processo de ordem de serviço mais eficaz: o sistema automatizado por facilitar o processo de ordem de serviço e as reuniões por melhorar as interfaces entre áreas.

Bauman et al. (1986, p.277) recomendam ainda que a ordem de serviço seja formatada para ser **amigável** (*user friendly*). O sistema deve ser projetado para suportar o pior caso de ordens de manutenção corretiva, mas também deve facilitar as manutenções de rotina. Uma sugestão é que as ordens de serviço tenham duas formas: uma abreviada e outra com requisitos adicionais que possam ser selecionados quando procedimentos e aprovações especiais sejam necessários.

O tratamento de informações, segundo Cossenza e Souza (1995, p.1047), apresenta as seguintes características:

- a) À medida em que aumenta o grau de complexidade, incerteza e interdependência entre as atividades da organização, aumenta a necessidade de compartilhar informações.
- b) A estrutura e funcionamento do sistema (ou redes) de comunicação influencia a capacidade da organização de compartilhar ou processar informações.
- c) A prática e o estilo administrativo devem ser compatíveis com os novos requisitos de processamento de informações.
- d) Quanto mais eficaz o sistema ou redes de comunicação de um empresa, maiores as possibilidades de melhorar o processo de tomada de decisões e o desempenho de indivíduos ou grupos.

2.7 Cultura organizacional

São muitas as definições de cultura. Para este trabalho, considera-se cultura como “uma espécie de lente através da qual as pessoas vêem o mundo e que as leva a considerar seu modo de vida como o mais natural” (Alves, 1997, p.3). Um ato cultural, visto no contexto em que acontece, e não em sua dimensão absoluta, é dito relativizado. Em outras palavras, a **relativização** é a compreensão do outro a partir dos seus próprios valores e não dos nossos. Ao contrário, o **etnocentrismo** é um julgamento de valor da cultura do outro em termos da nossa própria cultura.

Uma organização incorpora quatro estados distintos e concomitantes (Bennis e Nanus apud Alves, 1997, p.7):

- a) situação manifesta – aquilo que é exibido no organograma, mas que nunca reflete toda a realidade;
- b) situação suposta – o que as pessoas percebem como verdadeiro;
- c) situação existente – a situação que se consegue revelar, a partir da pesquisa sistemática; e
- d) situação requisito – aquilo que a organização deveria ser, se estivesse perfeitamente adequada à realidade.

A organização ideal seria aquela em que houvesse coincidência destas quatro visões. Como isto não é possível, pelo menos a consciência deste fato atenua as consequências negativas destas visões distintas de um mesmo assunto.

Schein apud Havold (2000, Internet) definem cultura organizacional como um padrão de concepções - inventadas, descobertas ou desenvolvidas por um certo grupo à medida em que ele aprende a enfrentar problemas de adaptação externa e integração interna – que foram trabalhadas o suficiente para serem consideradas válidas e, portanto, serem ensinadas aos novos membros como a maneira correta de perceber, pensar e sentir-se em relação àqueles problemas.

Como parte da cultura organizacional, existe a cultura de segurança, que é definida por Dyrhaug e Holden apud Havold (2000, Internet) como "uma série de crenças, normas, atitudes, papéis e práticas sociais e técnicas que são estabelecidas para minimizar a exposição de empregados, gerentes, clientes e terceiros ao perigo".

Merritt e Helmreich apud Havold (2000, Internet) indicam que a cultura organizacional, e portanto a de segurança, é formada pela gerência:

A cultura organizacional influencia diretamente o comportamento na cabina de controle. Pilotos mais provavelmente modelam seu próprio comportamento segundo o comportamento que eles observam na organização, porque eles acreditam ser este o comportamento sancionado pela gerência. A cabina de controle é um microcosmo da organização.

Hofstede apud Havold (2000, Internet) apresenta as seguintes características da cultura organizacional:

- a) holística;
- b) historicamente determinada;
- c) relacionada a conceitos antropológicos;
- d) construída socialmente;
- e) maleável; e
- f) difícil de mudar.

Merritt e Helmreich apud Havold (2000, Internet) encontraram um elo entre cultura nacional, cultura organizacional e segurança. Em situações onde a cultura organizacional e nacional estão em harmonia, não há fatores de tensão que possam influenciar a segurança, mas em situações onde os valores da cultura nacional e organizacional estão em conflito, pode haver fatores de tensão.

Há ainda um certo acordo entre cientistas que a cultura de segurança tem efeito sobre fatores tais como comunicações, tomada de decisões, solução de conflitos, atitudes, motivação e liderança. Diaz e Cabrera apud Havold (2000, Internet), ao comparar níveis de segurança, acidentes, incidentes e seu clima de segurança em três companhias em Tenerife, mostraram que aquelas empresas com mais alto nível

de segurança também tiveram uma pontuação mais alta em clima de segurança e uma atitude de segurança mais positiva. Segundo Perrow apud Havold (2000, Internet), mesmo em empresas que dizem **segurança em primeiro lugar**, a verdadeira situação pode ser que o indivíduo que toma as decisões utilize atalhos que levam a situações perigosas.

Porém em geral os trabalhos referem-se a uma cultura empresarial que está inserida em uma cultura nacional. Mas será que esta cultura empresarial é única? Mesmo que haja uma cultura hegemônica em toda a empresa, existem subculturas dentro de suas fronteiras. A cultura da empresa deve ser vista como um conjunto de subculturas, múltiplas e integradas, e não como um sistema unitário e monolítico (Shein apud Alves, 1997, p.15).

As subculturas podem ser a consequência de uma descentralização geográfica ou serem causadas pela divisão funcional do trabalho (recursos humanos, finanças, engenharia, operação, manutenção) (Thévenet apud Alves, 1997, p.15).

Deve ser observado que os autores citam a dificuldade de mudar, mas não a impossibilidade. Por outro lado foi citado que a cultura é efetivamente formada pela gerência, ainda que isto leve tempo. Portanto, o trabalho de formar ou moldar uma cultura de segurança é uma das tarefas do gerente da área de manutenção.

2.8 Treinamento

Em nossa sociedade tecnológica poucos discutem a necessidade de treinamento. Porém variam muito os conceitos que cada empresa (ou mesmo cada gerente) tem. Toda empresa de grande porte possui, em sua estrutura organizacional, um órgão de treinamento. Talvez as concepções ambíguas comecem já no nome desta área, que seria melhor designada como de capacitação, porque afinal seu objetivo deveria ser prover a organização de indivíduos capazes ou aptos a realizarem bem seu trabalho.

Para William J. Reddin apud Chiavenato (1987, p.530) eficiente é quem “treina os subordinados” e eficaz é quem “proporciona eficácia aos subordinados”. E somente proporcionando a capacitação é que pode pensar em proporcionar a eficácia.

Por outro lado existe muitas vezes, oriunda da legítima preocupação com os custos, uma tendência a limitar a capacitação dos empregados em habilitações muito específicas. Como já foi citado no capítulo 1, o profissional de manutenção deve ter uma formação multidisciplinar, pois a variedade de situações enfrentadas no seu dia-a-dia exige conhecimentos e habilidades muito variadas, diferente, por exemplo, de uma linha de montagem de uma fábrica, onde praticamente todas as situações são previstas e planejadas em detalhes com bastante antecipação.

2.8.1 Múltiplas habilidades

A múltipla habilitação é uma necessidade para possibilitar a descentralização e a flexibilidade (Campbell, 1995, p.31). Múltipla habilitação significa proporcionar aos empregados todas as habilidades necessárias para realizar suas tarefas eficientemente. A múltipla habilitação promove a iniciativa pessoal. O objetivo da múltipla habilitação é a flexibilidade. Seu objetivo não é fazer com que todos façam tudo e eliminar as habilidades de especialistas ou baixar os padrões de qualidade. Se for buscada a múltipla habilitação simplesmente para cortar custos em vez de aumentar a produtividade, seus benefícios a longo prazo serão perdidos. A múltipla habilitação ou formação polivalente significa a capacidade de cada indivíduo desempenhar distintas atividades, diferente da visão excessivamente voltada à especialização existente no passado.

Ainda segundo Campbell (1995, 31), a busca por imediata redução de custos leva a algumas legítimas preocupações sindicais sobre a múltipla habilitação, que devem ser cuidadosamente trabalhadas pelos gerentes para garantir o sucesso de um plano de treinamento:

- a) Não há uma certificação de habilidades reconhecida que possa ser transferida para outras organizações ou jurisdições. Assim, programas de múltipla habilitação bloqueariam os empregados.
- b) Os programas de treinamento podem ser inadequados ou pobremente concebidos.
- c) A múltipla habilitação ignora os tradicionais padrões de carreira, onde longa ou valiosa experiência como especialista leva a promoções para a gerência.
- d) Algumas organizações generalizam as habilidades para atingir as necessidades imediatas da gerência, novamente reduzindo a mobilidade.
- e) Múltipla habilitação pode ser um precursor para a terceirização da manutenção.
- f) Frequentemente as organizações introduzem programas de múltiplas habilitações com redução de pessoal e esquemas de compensação inadequados.

A única maneira de superar estas preocupações é discuti-las abertamente com os empregados para encorajar seu envolvimento e comprometimento. Devem ser verificados quais tarefas são realizadas, se o atual nível de habilidades é adequado e quais as tarefas são mais frequentemente executadas. Estas informações estão disponíveis nos manuais de manutenção e ordens de trabalho ou podem ser obtidas mediante questionários respondidos pelos empregados.

Os benefícios que podem ser esperados a longo prazo da múltipla habilitação são os seguintes:

- a) crescente flexibilidade na programação de trabalhadores;
- b) menor tempo de resposta;
- c) redução da necessidade de supervisão;
- d) maior produtividade dos trabalhador e do equipamento;
- e) moral dos empregados mais alta;
- f) melhorias na programação, comunicação e integração; e
- g) mais estabilidade de emprego.

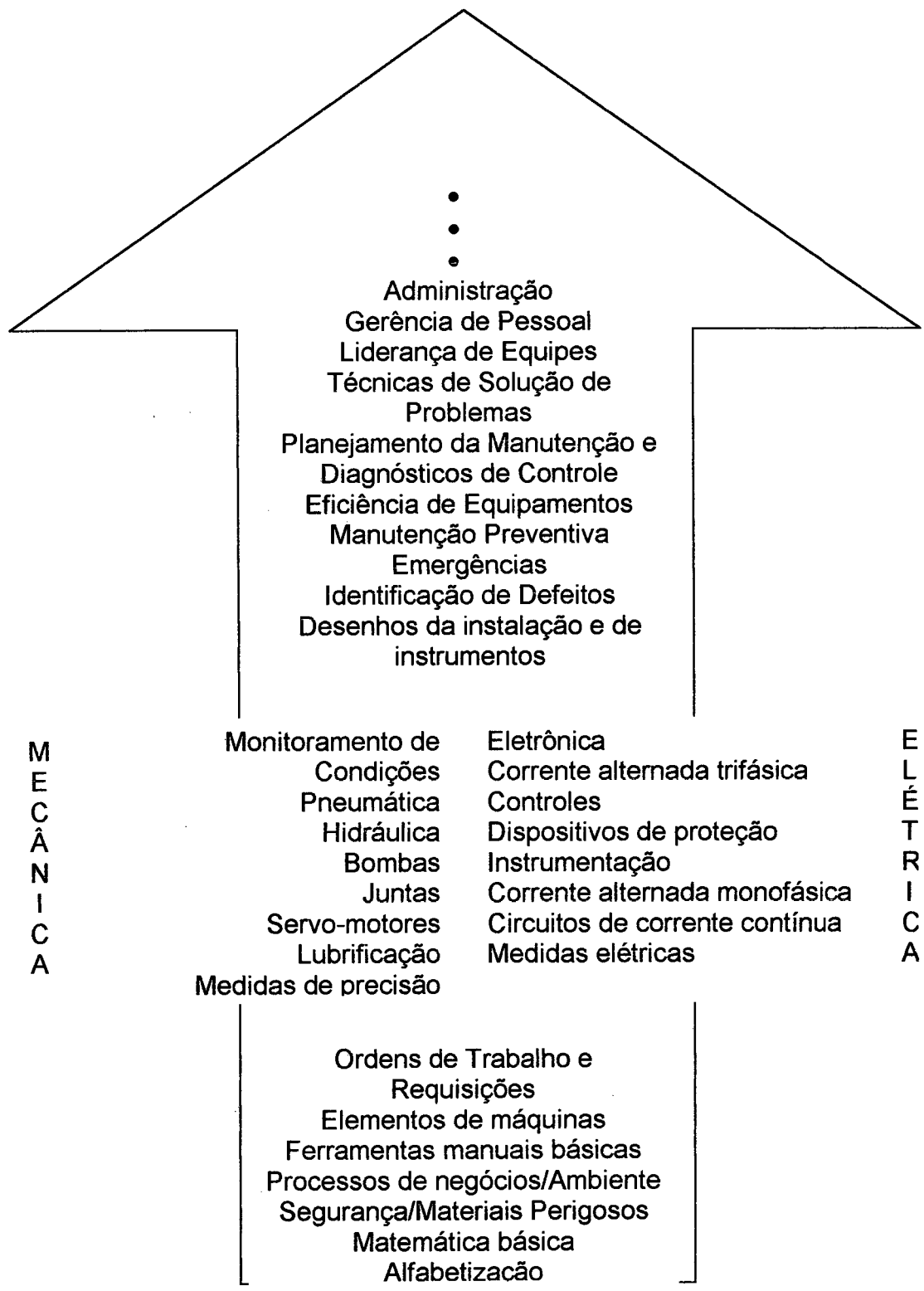
2.8.2 Aprendizagem, treinamento e desenvolvimento

Segundo Campbell (1995, p.37), a educação e treinamento são os pontos de partida para incentivar um ambiente de aprendizagem. A estratégia deve ter:

- a) um claro objetivo;
- b) uma revisão das necessidades de treinamento;
- c) um entendimento da cultura única de cada empresa;
- d) um plano de implantação, juntando as necessidades de treinamento e a cultura da empresa;
- e) os custos e benefícios associados; e
- f) contínuo acompanhamento se os objetivos estão sendo alcançados.

Deve-se compreender que existe uma diferença entre educação e treinamento, ambos são necessários em uma empresa, mas não devem ser confundidos. O objetivo da **educação** é expandir o conhecimento sobre um assunto, trazer o indivíduo desinformado aos vários estágios do conhecimento e compreensão. O objetivo do **treinamento** é atualizar as habilidades de uma pessoa para efetivamente fazer seu trabalho.

Como o pessoal de manutenção tem uma faixa de escolaridade muito variável, eventualmente a empresa deve começar seu escopo de treinamento com a alfabetização e, subindo na hierarquia de treinamento, passar pelos cursos técnicos (aqui dividindo-os nas categorias elétrica e mecânica), chegar aos conceitos de manutenção e qualidade, para finalmente chegar aos conceitos de administração de pessoal e gerenciamento. O treinamento necessário à execução da manutenção pode ir desde a alfabetização até métodos de gerenciamento de pessoal, conforme mostrado na figura 10.



Fonte: Campbell (1995, p.38)

Figura 10 - Abrangência dos Requisitos de Treinamento

Para definir as necessidades de educação e treinamento devem-se tornar compatíveis as tarefas com as habilidades necessárias para fazê-las.

Ao elaborar um programa de treinamento, deve-se planejar não apenas **o que** mas também quem, quando, onde, por quem, como e quanto.

Quem – para otimizar os custos e o impacto na força de trabalho disponível. Deve-se tomar cuidado em não designar todos de uma mesma equipe ao mesmo tempo.

Quando – considerar as programações de trabalho da instalação. Questões de cultura da empresa da empresa podem determinar horários específicos para o treinamento, inclusive, em certos casos, fora do horário normal de trabalho.

Onde – O local do treinamento deve ser cuidadosamente escolhido. Pode ser na própria instalação, principalmente para treinamentos técnicos específicos. Também pode ser fora da instalação ou em casos de treinamento à distância, em casa. Determinados treinamentos específicos, quando não compense, por razões econômicas, trazer o instrutor ou material técnico devem ser feitos fora da cidade. Porém há que ter-se cuidado nestes casos, pois em certas organizações a cultura vigente considera treinamento externo como uma premiação. Nestes casos as necessidades devem ficar muito claras para todo o grupo.

Por quem – Existem diversas possibilidades sobre quem deve ministrar o treinamento: Pode ser uma universidade ou faculdade local, podem ser fornecedores de equipamentos, podem ser consultores ou podem ser os próprios supervisores da empresa que detêm conhecimentos específicos.

Como – A forma de realizar o treinamento pode variar muito. Podem ser estudos em casa, palestras, audiovisuais ou uma combinação de sala de aula e prática (*on the job*).

Quanto – Avaliações quantitativas devem ser sempre buscadas e incluir não apenas preço como também padrões, avaliações e certificações.

Assim, ficou evidenciada a importância da atividade de treinamento para que a área de manutenção possa desempenhar sua função com eficácia. Também é importante a compreensão da variedade de especializações envolvidas no trabalho de manutenção para que se compreenda a complexidade do estudo do erro humano nesta atividade.

2.9 Ferramentas da Qualidade

Este trabalho limita-se a apresentar, no amplo tema da Qualidade, apenas as ferramentas básicas que podem ser aplicadas em diversas áreas e independentemente de a empresa ter ou não um sistema de qualidade.

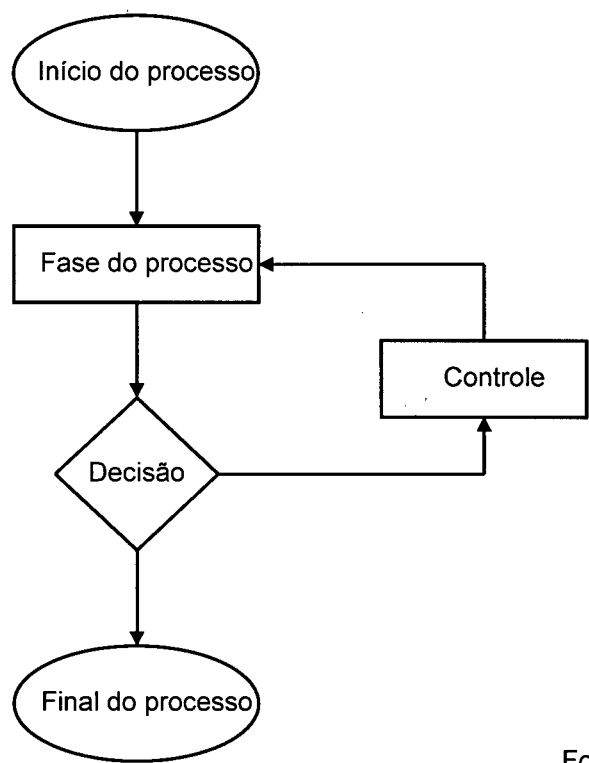
As sete ferramentas, descritas a seguir, revelam-se de importância fundamental na análise estruturada dos dados e fatos disponíveis e são de aplicação generalizada a quase todos os níveis da empresa. Para a resolução de um determinado problema é necessário, antes de mais, identificá-lo, isto é, decidir qual o problema a considerar e caracterizá-lo convenientemente. A fase de resolução que se segue passa por listar todas as suas potenciais causas, selecionar as mais importantes, desenvolver um plano para implementar efetivamente as soluções, implementá-las e, sempre que possível, avaliar o efeito da sua implementação.

A seguir são descritas as seguintes ferramentas básicas: Fluxograma, Diagrama de Pareto, Diagrama de Ishikawa ou de Causa e Efeito, Folha de verificação, Histograma, Diagrama de Dispersão e Carta de Controle.

2.9.1 Fluxograma ou gráfico de fluxo

O fluxograma é uma das primeiras ferramentas a utilizar quando se pretende estudar um processo. Trata-se de um diagrama sistemático que busca representar de uma

forma muito simples, ordenada e facilmente compreensível as várias fases de qualquer procedimento, processo de fabricação, funcionamento de sistemas ou equipamentos, e outros, bem como as relações de dependência entre elas. Estes diagramas são constituídos por passos seqüenciais de ação e decisão, cada um dos quais representado por simbologia própria que ajuda a compreender a sua natureza: início, ação, decisão, e assim por diante. A figura 11 mostra um exemplo de um fluxograma, com seus principais elementos constituintes e respectivos símbolos gráficos: início do processo (elipse), fase do processo (retângulo), decisão (losango) e final do processo (elipse).



Fonte: Paiva, A.L. (Internet,1996)

Figura 11 - Fases e simbologia utilizada num fluxograma.

2.9.2 Diagrama de Pareto

No século passado, ao analisar a sociedade, o economista italiano Vilfredo Pareto (1842-1923) concluiu que grande parte da riqueza se encontrava nas mãos de um número reduzido de pessoas. A partir desta observação, e por tal conclusão poder ser generalizada a muitas áreas da vida quotidiana, foi estabelecido o método de

análise de Pareto, também chamado método ABC ou dos 20-80%. De uma forma resumida, este método estabelece que a grande maioria dos efeitos é devida a um número reduzido de causas.

A grande aplicabilidade deste princípio à resolução dos problemas da qualidade está precisamente no fato de ajudar a identificar o reduzido número de causas que estão, muitas vezes, por trás de uma grande parte dos problemas. Uma vez identificadas deve-se proceder à sua análise, estudo e implementação de processos que conduzam à sua redução ou eliminação.

O princípio de Pareto pode ser usado para diferentes tipos de aplicações em termos de qualidade. Assim, uma vez que os problemas da qualidade aparecem normalmente sob a forma de perdas (itens defeituosos e seus custos), é de extrema importância tentar esclarecer o porquê da sua ocorrência. A análise de Pareto diz que, em muitos casos, a maior parte das perdas que se fazem sentir são devidas a um pequeno número de defeitos considerados vitais. Os restantes defeitos, que dão origem a poucas perdas, são considerados triviais e não constituem qualquer problema sério. Por outro lado, este princípio pode também ser aplicado à redução dos custos de defeitos. Tais custos compõem-se principalmente do custo das reparações e das rejeições devidos a defeitos nos produtos em curso de fabricação ou devolvidos pelos clientes. Mais uma vez o que se verifica é que uma pequena porção (cerca de 20%) dos produtos defeituosos ou do número de defeitos de uma mesma produção é muitas vezes responsável pela maior parte (cerca de 80%) do custo global dos defeitos, quer ao nível da empresa, quer ao nível do produto considerado.

É na detecção das 20% das causas que dão origem a 80% dos efeitos que o que o diagrama de Pareto se revela uma ferramenta muito eficiente. Trata-se de uma representação gráfica ordenada na qual, para cada causa se representa, sob a forma de barras, a respectiva consequência (número de defeitos, custo, e outros). A figura 12 mostra um Diagrama de Pareto.

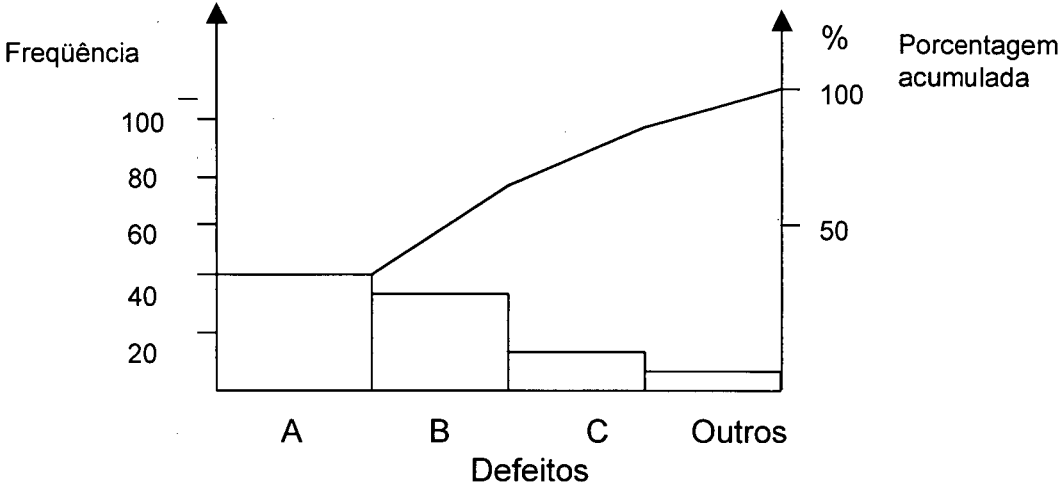


Figura 12 - Diagrama de Pareto

2.9.3 Diagrama de causa-efeito (Ishikawa)

O diagrama de causa-efeito, também chamado diagrama de Ishikawa (engenheiro japonês que o criou) ou de espinha de peixe, é uma ferramenta muito utilizada em qualidade e de fácil aplicação. Trata-se de um processo que permite a identificação e análise das potenciais causas de variação do processo ou da ocorrência de um fenômeno, bem assim como da forma como essas causas interagem entre si. Este tipo de diagrama mostra a relação entre a característica da qualidade em questão e essas causas que podem, usualmente, ser de 5 naturezas diferentes (também designadas por 5 Ms): materiais, métodos, mão-de-obra, máquinas e ambiente, conforme mostrado na figura 13. Existem casos, no entanto, em que são de uma outra natureza qualquer.

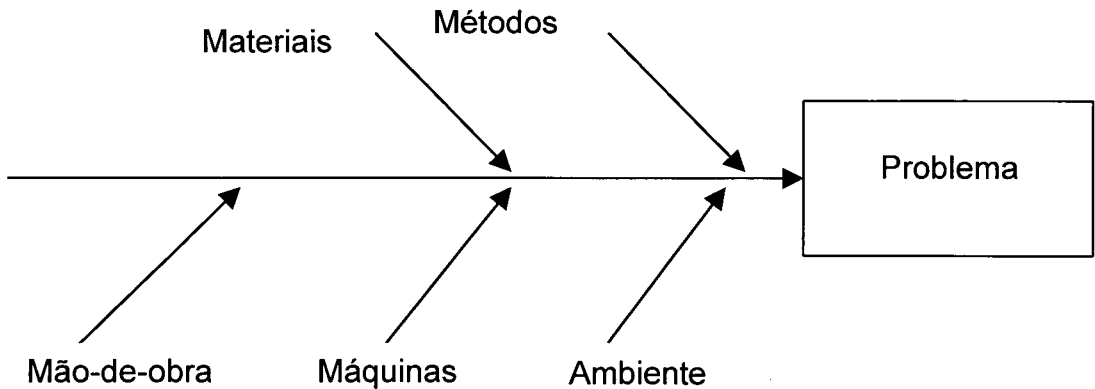


Figura 13 - Diagrama de Ishikawa

O procedimento para elaborar um diagrama deste tipo pode ser sistematizado nas seguintes etapas:

- a) Determinar a característica de qualidade cujas causas se pretendem identificar.
- b) Através da investigação e discussão com um grupo de pessoas (*brainstorming*), determinar quais as causas que mais diretamente afetam essa característica, isto é, aquelas que têm uma influência direta no problema a ser resolvido (causas primárias ou causas de nível 1).
- c) Traçar o esqueleto do diagrama colocando, numa das extremidades, a característica da qualidade em questão. Desta deve partir a espinha do peixe, isto é, uma linha horizontal de onde deverão irradiar as ramificações com as causas consideradas como primárias.
- d) Identificar as causas (secundárias ou causas de nível 2) que afetam as causas primárias anteriormente identificadas, bem assim como aquelas (causas terciárias) que afetam as causas secundárias, e assim por diante. Cada um destes níveis irá constituir ramificações nas causas de nível imediatamente inferior.

Um outro tipo de diagrama de causa e efeito que se pode construir é o diagrama de classificação do processo. Este consiste em, a partir do diagrama de fluxo do processo em causa, ir identificando para cada fase todas as potenciais causas ou características que influenciam a qualidade.

A combinação dos diagramas de Causa e Efeito e diagramas de Pareto revela-se extremamente útil na resolução de problemas.

2.9.4 Diagrama de barras ou histograma

A análise dos dados recolhidos ao longo de qualquer processo irá permitir avaliar a forma como este está a decorrer, bem assim como tirar conclusões sobre ele. No entanto, caso o número dos dados recolhidos seja grande, o seu tratamento e análise tornar-se-á difícil a menos que se recorra a métodos que permitam a sua

fácil ordenação e apresentação.

Os histogramas apresentam-se como um método de simples elaboração que, mediante representação gráfica do número de vezes que determinada característica ou fenômeno ocorre (distribuição de freqüência), permitem obter uma impressão visual objetiva sobre a dispersão e localização dos valores recolhidos e, caso a amostra seja representativa, da totalidade da população, conforme mostrado na figura 14 . Tais diagramas podem assim ser utilizados para o controle e melhoria do processo.

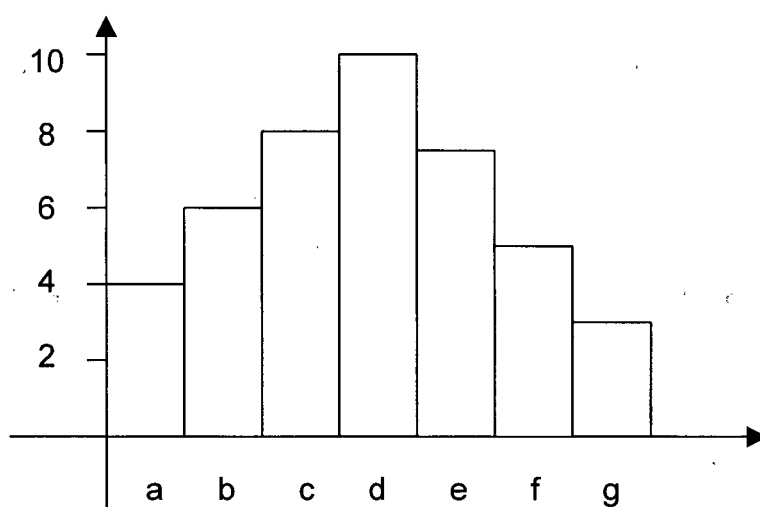


Figura 14 - Histograma

A construção dos histogramas passa pelas seguintes fases:

- Coletar valores.
- Calcular amplitude total da amostra.
- Dividir em classes, caso necessário, e calcular amplitude e limites de cada classe.
- Determinar freqüência (absoluta ou relativa) de cada valor ou classe.
- Desenhar, para cada valor da característica, uma barra cuja altura seja proporcional à freqüência com que esse valor ocorre. As barras correspondentes a valores consecutivos devem estar todas unidas e todas elas apresentam normalmente larguras semelhantes.

2.9.5 Diagrama de dispersão

Na prática, é muitas vezes importante verificar se duas variáveis (por exemplo notas do aluno e dias de treinamento) estão ou não relacionadas e, caso positivo, qual o tipo de relação que existe entre elas. Os diagramas de dispersão tornam-se uma ferramenta extremamente poderosa para atingir esse objetivo. Caso exista, essa relação é usualmente do tipo causa-efeito não sendo no entanto possível, através dos diagramas de dispersão, identificar qual das variáveis é a causa e qual é o efeito. A construção destes diagramas passa por recolher os pares de dados (x,y) entre os quais se pretende analisar a relação, organizar esses dados numa tabela, encontrar os valores máximos e mínimos para x e para y, marcar as escalas respectivas de forma que sejam mais ou menos iguais e marcar os pontos no gráfico.

Na análise destes gráficos a primeira coisa a fazer será verificar se existem ou não pontos nitidamente afastados do grupo principal (pontos com comportamento atípico). O afastamento desses pontos poderá ser explicado por eventuais erros na medição ou registo de dados, bem assim como por variações ocorridas durante o processo. Pontos atípicos deverão ser excluídos da análise, não sem no entanto tentar descobrir a causa de tal comportamento. Da marcação dos pontos poderão surgir uma das três situações: (a) correlação positiva (em que o aumento de uma variável conduz ao aumento da outra), (b) correlação negativa (em que o aumento de uma variável conduz à diminuição da outra) e (c) ausência de correlação (quando não parece haver qualquer tipo de ligação entre as variáveis consideradas). A figura 15 mostra um diagrama de dispersão com correlação positiva.

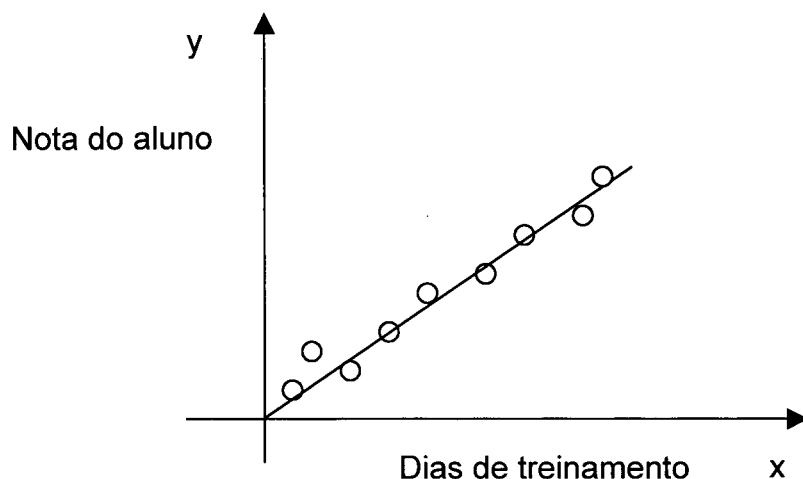


Figura 15 - Diagrama de Dispersão

2.9.6 Folha de verificação

É importante garantir bastante objetividade na coleta de dados. Logo é necessário definir inicialmente, com precisão, quais dados são necessários. Avaliar parâmetros ou fazer leituras que não nos interessam apenas conduz a perdas de tempo e a uma maior confusão em termos do seu armazenamento. Para que isto não aconteça convém dispor de uma ficha ou formulário simples e convenientemente elaborado onde as perguntas para as quais se deseja a resposta se encontram perfeitamente definidas e que permita a qualquer usuário identificar corretamente quais os itens a medir/registar e em que ocasião e seqüência isto deve ser feito.

As folhas de verificação não só facilitam a coleta de dados como também a sua organização. Com base nelas será mais fácil posteriormente encontrar dados que sejam necessários, bem assim como fazer estudos retrospectivos. Não existe uma folha de verificação padrão, uma vez que estas devem ser elaboradas em função do fim a que se destinam.

2.9.7 Carta de controle

Um dos métodos mais utilizados para descobrir, não só a forma como as causas comuns das variações nos processos, mas também de identificar a existência de causas especiais, consiste na utilização de cartas de controle e foi desenvolvido nos anos 20 pelo Dr. Walter Shewhart dos laboratórios Bell, nos Estados Unidos.

Uma carta de controle é um gráfico em que se marcam pontos representativos de várias fases consecutivas de um processo, permitindo assim seguir a sua evolução. O controle estatístico do processo (CEP) baseia-se na utilização das cartas de controle e é o modo de, seguindo essa evolução, conseguir interpretar as variações que ocorrem de forma a se poder decidir se devem ou não ser feitas alterações.

A primeira fase da construção destes gráficos consiste na coleta de uma série de dados relativos à característica a ser estudada (dimensões, número de peças defeituosas, número de defeitos nas peças produzidas, tempos e outras.). Uma vez que, quer por uma questão de dinheiro como de tempo, na grande maioria das vezes é impossível fazer o controle de todas as peças, deve-se selecionar apenas algumas que sejam representativas das restantes (amostragem). Para ser feito de forma correta, isto deverá seguir um plano e, uma vez que existem vários tipos de planos de amostragem disponíveis, é importante escolher aquele que dá mais e melhor informação. Amostragens bem feitas irão permitir que, verificando apenas uma pequena quantidade de peças, seja possível dizer o que se passa com a totalidade delas.

Numa fase seguinte os dados recolhidos deverão ser reunidos e, dependendo do tipo da carta de controle a usar, convertidos numa forma tal que permita a sua marcação.

A utilização das cartas de controle é freqüentemente vista como um processo de monitoramento. No entanto, para poderem assumir esse papel, terão antes que ser

definidos quais os limites de controle para além dos quais as características avaliadas do produto, processo ou serviço não poderão passar. Deve-se ter em mente que os limites de controle não são especificações limites nem objetivos. De fato, cada característica (por exemplo o diâmetro de um parafuso) tem um valor objetivo em torno do qual, devido às causas comuns, os valores realmente observados se irão dispor. Consciente de que é impossível que todos os produtos apresentem esse valor objetivo, o cliente estabelece ainda as especificações máximas admissíveis (tolerâncias) para além das quais os produtos não deverão passar: limites máximo e mínimo de especificação. Por outro lado, o produtor tem que dispor de meios que garantam a qualidade e homogeneidade do seu produto. Com esse objetivo marca-se nas cartas de controle limites para além dos quais se considera que o seu produto não é suficientemente bom para seguir para o cliente: limite máximo e mínimo de controle. Estes limites de controle utilizados pelo produtor deverão ser inferiores aos admitidos pelo cliente por forma a evitar que cheguem a este produtos fora das especificações.

O conjunto de dados coletados que constituirá a primeira das cartas de controle é também utilizado para, mediante fórmulas baseadas na variabilidade natural do processo e no plano de amostragem, determinar os limites de controle das cartas subseqüentes. O controle e melhoria do processo usando cartas de controle deve ser encarado como um processo iterativo em que se repetem as fases fundamentais de coleta de dados, controle e análise. De fato, calculados os limites de controle com esse primeiro conjunto de dados, se for evidente a existência de causas especiais de variação que leve pontos para fora dos limites ou que tornem evidentes tendências na variação dos pontos, o processo deverá ser estudado para se conseguir determinar o que o está a afetar e se tomarem depois as devidas ações para eliminar essas causas especiais. Após eliminadas, deve-se coletar mais dados e recalcular os limites de controle, fundamentais para interpretar os dados para o controle estatístico.

A partir do momento em que todas as causas especiais tenham sido eliminadas e o processo se encontrar em controle estatístico, a carta irá servir de ferramenta de

monitorização. Sempre que algum ponto saia fora dos limites de controle ou que apresentem alguma tendência marcada de variação, o processo deverá ser interrompido e a razão de ser de tal ocorrência ser investigada uma vez que não vale a pena estar a produzir peças que provavelmente irão ter defeitos ou estar fora das especificações. Identificadas as causas especiais que levaram à ocorrência destes pontos fora de controle, o processo deverá ser alterado de forma a contornar os problemas que as originaram. O ciclo recomeça novamente à medida que mais dados são recolhidos, interpretados e usados como base de atuação.

Nesta fase, o processo poderá ser interpretado em termos da sua capacidade. Será então possível prever o desempenho do processo podendo, quer o produtor quer o cliente, confiar em níveis de qualidade consistentes e em custos estáveis para atingir esse nível de qualidade. Por outro lado, atingido o controle estatístico, não se deve ficar por aí. Caso a variação oriunda das causas comuns seja excessiva, o resultado do controle do processo não irá de encontro às necessidades uma vez que o produto continuará a apresentar pouca homogeneidade. O processo em si deverá ser investigado e corrigido por forma a eliminar e/ou reduzir essas causas comuns e, para isso, tipicamente, uma atitude da gerência deverá ser tomada para melhorar o sistema. O objetivo é que os produtos se tornem cada vez mais homogêneos e, conseqüentemente, que os limites de controle vão se tornando mais estreitos.

As cartas de controle, que se apresentam assim como uma ferramenta de controle e de melhoria do processo, podem ser de dois tipos distintos conforme o controle que é efetuado: controle por variáveis ou controle por atributos.

A figura 17 mostra uma carta de controle, onde o eixo x representa a percentagem amostral de peças defeituosas e o eixo Y o número da amostra. A linha p representa a percentual esperada de peças defeituosas, LSC representa o limite superior de controle e LIS o limite inferior de controle, valores máximo e mínimo para que o processo esteja sob controle.

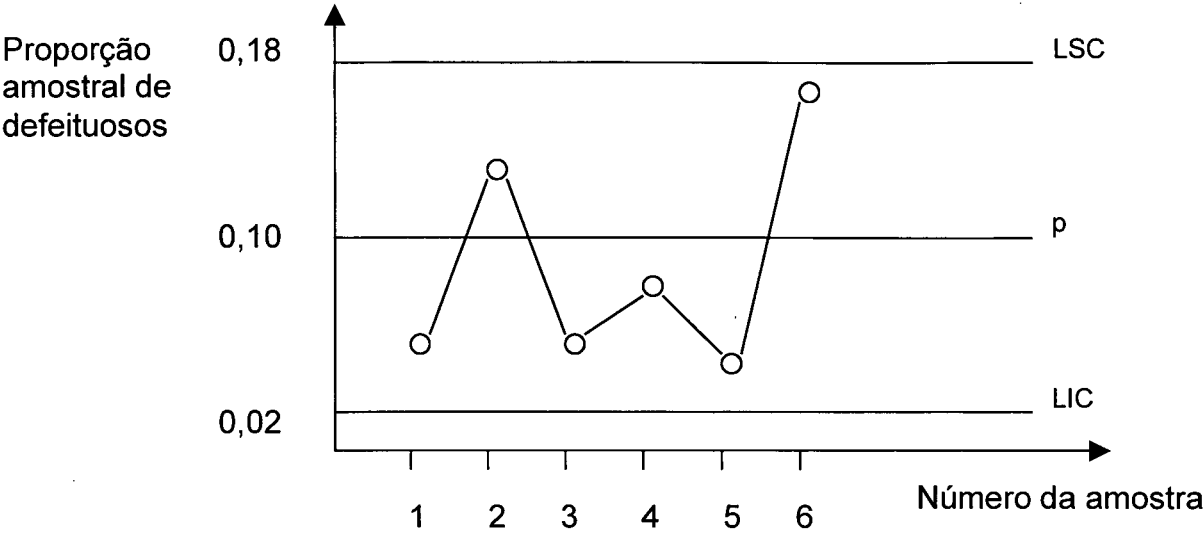
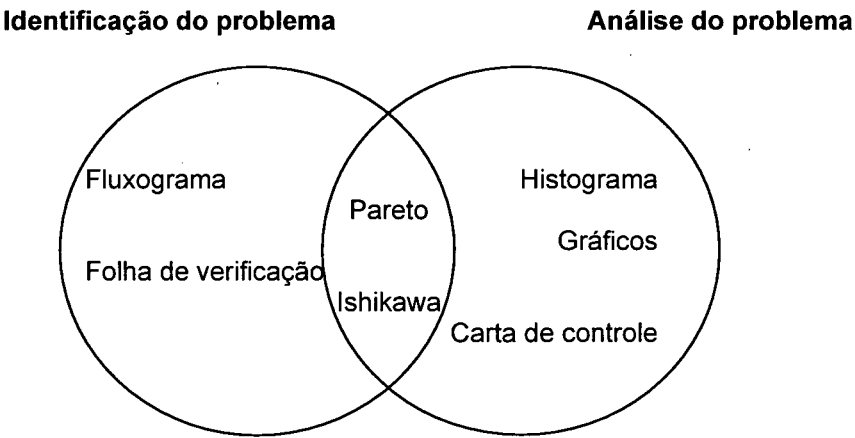


Figura 17 - Carta de Controle

A figura 18 mostra a aplicabilidade de cada uma das sete ferramentas. Observa-se que, para identificação do problema são utilizados: fluxograma, folha de verificação, Diagrama de Pareto e Diagrama de Ishikawa. Para análise do problema são utilizados: Diagrama de Pareto, Diagrama de Ishikawa, histograma, gráficos e cartas de controle. Os diagramas de Pareto e de Ishikawa prestam-se tanto à identificação do problema quanto à sua análise.



Fonte: Paiva, A.L. (Internet, 1996)

Figura 18 - A utilização das ferramentas básicas na resolução de problemas

Como síntese geral para a fundamentação teórica, pode-se dizer que a questão de falhas humanas é complexa, porém pode ser controlável com métodos científicos e, na era da qualidade total, este é um aspecto que a gerência não pode negligenciar. As empresas industriais, principalmente na área de serviços públicos como o fornecimento de energia elétrica, devem minimizar o risco de ter suas sofisticadas instalações inoperantes devido a uma falha humana. Devido aos valores econômicos envolvidos e as conseqüências sociais que podem advir de uma falha, toda a prevenção se justifica. Uma única falha que seja evitada já é suficiente para justificar a existência de um sistema de prevenção.

Assim, uma vez compreendidos todos os fatores envolvidos na questão das falhas humanas, descritos neste capítulo, passa-se a aplicá-los na análise do problema prático de uma empresa geradora de energia elétrica.

3 ESTUDO DE CASO

3 ESTUDO DE CASO

A seguir é apresentado o estudo de caso em que a fundamentação teórica dos erros humanos é aplicada à área de manutenção de uma Central Hidrelétrica.

A empresa Itaipu Binacional é resultado do Tratado de Itaipu, assinado em 26 de abril de 1974, entre Brasil e Paraguai. A Entidade Binacional Itaipu foi constituída em 17 de maio de 1974 e tem como sócios a ELETROBRÁS (Centrais Elétricas Brasileiras S.A.) no Brasil e a ANDE (*Administración Nacional de Electricidad*), no Paraguai.

A Central Hidrelétrica de Itaipu é a maior do mundo em operação nos itens potência instalada (12 600 MW) e produção anual de energia (90 001 900 MWh em 1999). É interessante observar-se que a Usina de Três Gargantas, em fase de construção na China, quando concluída deverá ter uma potência instalada de 16 000 MW o que a colocará na posição de primeira do mundo neste quesito. Porém sua produção anual de energia, devido às variações sazonais do rio, não atingirá os recordes de Itaipu.

A Entidade Binacional Itaipu emprega aproximadamente 3 000 pessoas, entre brasileiros e paraguaios.

A Central Hidrelétrica de Itaipu produz cerca de 25% de toda a energia elétrica utilizada no Brasil e 80% de toda a energia utilizada no Paraguai. Como os dois países possuem sistemas elétricos muito diferentes em tamanho, o resultado é que 5% da energia gerada pela Central é fornecida ao Paraguai e 95% é fornecida ao Brasil.

A produção diária de Itaipu equivale à queima de 434 000 barris de petróleo.

Por estes números percebe-se que a confiabilidade do funcionamento contínuo da instalação é, mais do que uma questão de mercado para a empresa, uma questão

estratégica para os dois países.

3.1 Aspectos particulares da Itaipu Binacional

Cada empresa tem uma cultura única. Mesmo empresas multinacionais têm, em cada um dos países onde atua, suas particularidades. Como resultado de tratado entre dois países, Itaipu possui vários aspectos únicos entre as hidrelétricas brasileiras.

São línguas oficiais e de trabalho o português e o espanhol. Para contatos com fornecedores internacionais também é considerada como língua oficial o inglês. Coloquialmente muitos empregados paraguaios falam entre si em guarani, língua nativa sem qualquer similaridade com línguas européias e relacionada ao tupi falado pelos indígenas brasileiros. O quadro de empregados é de aproximadamente 3000 pessoas, metade de nacionalidade brasileira e metade de nacionalidade paraguaia, de acordo com os termos do Tratado. Na Diretoria Técnica, onde as equipes de trabalho são binacionais em todos os níveis, pode-se dizer que praticamente todos os empregados entendem e lêem, em graus diferentes, os dois idiomas. Muitos paraguaios dominam o português (além de entender, também lêem, falam e escrevem) e poucos brasileiros dominam o espanhol. Esta situação, em grande parte, é fruto da circunstância de muitos engenheiros paraguaios serem formados no Brasil.

3.2 Equipamentos da Central Hidrelétrica

Não apenas a potência instalada em Itaipu é a maior do mundo. As quantidades de equipamentos a serem mantidos também superam qualquer outra instalação e, em muitos casos, superam sistemas elétricos inteiros. A tabela 7 mostra os principais equipamentos e suas quantidades.

Tabela 7 - Quantidades dos Principais Equipamentos da Central

Equipamento	Quantidade	Características e Funções
Unidade Geradora	18	Potência 700 MW – 50Hz (9 unidades – 60 Hz (9 unidades)
Bomba Hidráulica	380	Bombeamento de água e óleos Diesel, lubrificante e hidráulico)
Ventilador	552	Vazões de até 92 700 m ³ /h, para insuflamento e exatão de ar.
Trocador de Calor	895	Ar/água, água/água e água/óleo
Ponte Rolante	16	2 de 100 kN, 1 de 1 MN, 8 de 2,5 kN e 4 de 10MN.
Transformadores de Corrente	519	25 em 13,8 kV, 18 em 18 kV, 9 em 66 kV, 38 em 220 kV e 63 em 500 kV.
Disjuntores	318	237 de 13,8 kV, 6 de 66 kV, 12 de 220 kV e 63 de 500 kV
Seccionadoras	430	2 de 13,8 kV, 26 de 18 kV, 16 de 66 kV, 29 de 220 kV e 347 de 500 kV.
Banco de Baterias	57	Diversos tipos e funções
Painéis Elétricos	753	Diversos tipos e funções
Transformadores	244	Potências de 0,75 a 375 MVA Tensões de 18 a 525 kV

Fonte: Itaipu Binacional (1989, p.87)

3.3 A área de manutenção da Itaipu Binacional

A área de manutenção é estruturalmente organizada como uma superintendência da Diretoria Técnica e conta com aproximadamente 500 empregados. A formação profissional varia desde empregados com primeiro grau incompleto até o nível de mestrado. Atualmente existe um programa empresarial (PEC – Programa de Educação Complementar) com o objetivo de proporcionar formação de primeiro e segundo grau a todos os empregados.

A missão da Superintendência de Manutenção é definida como:

Otimizar a disponibilidade operacional da Central, avaliando permanente o custo/benefício envolvido desde o início do processo de planejamento, passando pela execução, controle e análise das atividades de manutenção, com o objetivo de atender aos clientes da Itaipu Binacional, através do fornecimento de energia com qualidade. (Itaipu Binacional, 1998).

A Superintendência de Manutenção (SM.DT) é composta de dois departamentos: Departamento de Manutenção (SMM.DT) e Departamento de Engenharia de Manutenção (SMI.DT) e uma Divisão de Planejamento e Controle (SMPC.DT), conforme mostrado na figura 19:

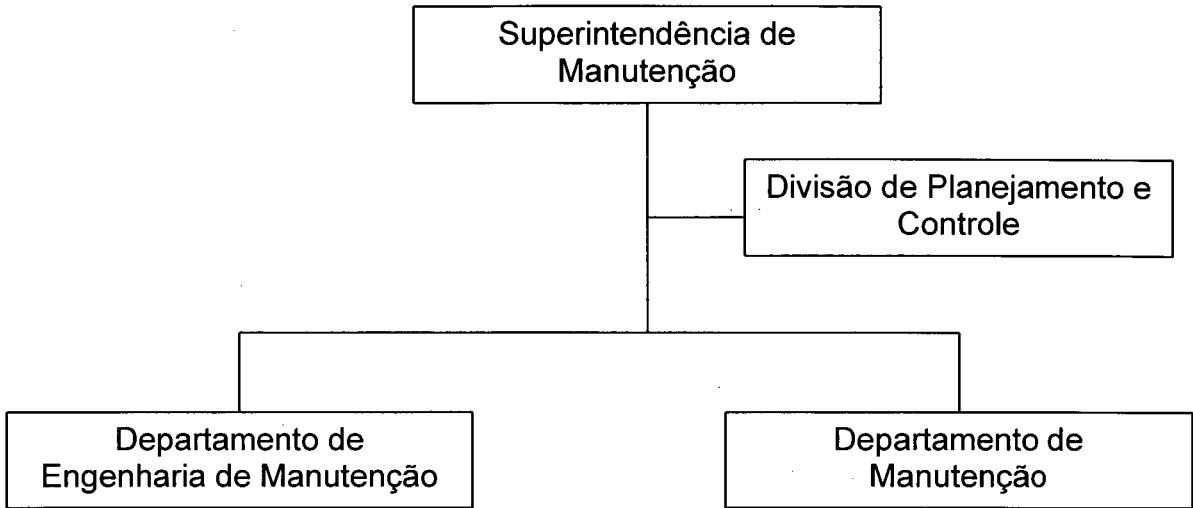


Figura 19 - Organograma da Superintendência de Manutenção.

O Departamento de Manutenção (SMM.DT) é estruturado em seis divisões, conforme mostrado no organograma da figura 20.

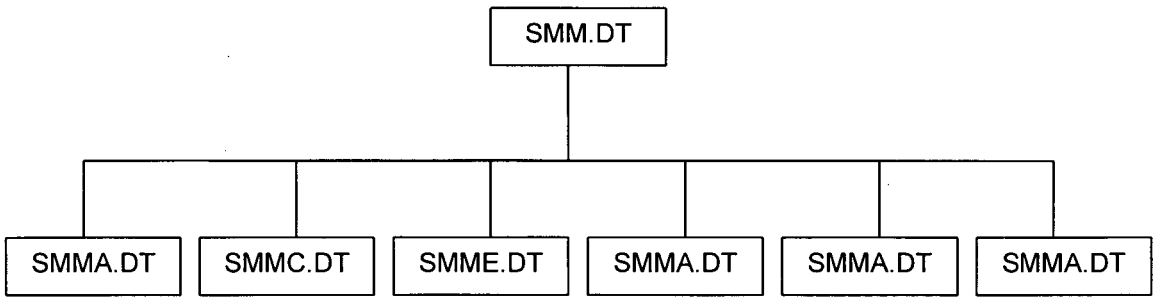


Figura 20 - Organograma do Departamento de Manutenção

São as seguintes as divisões do Departamento de Manutenção:

a) Divisão de Manutenção de Serviços Auxiliares Mecânicos (SMMA.DT): responsável pela manutenção mecânica dos equipamentos dos serviços auxiliares da Usina.

- b) Divisão de Manutenção Civil e Industrial (SMMC.DT): responsável pela manutenção das edificações.
- c) Divisão de Manutenção Eletrônica (SMME.DT): Responsável pela manutenção dos equipamentos de comunicação, proteção e controle.
- d) Divisão de Manutenção de Equipamentos de Geração: Responsável pela manutenção elétrica dos equipamentos de geração e dos serviços auxiliares elétricos.
- e) Divisão de Manutenção de Equipamentos de Transmissão (SMMT.DT): Responsável pela manutenção de equipamentos de subestações, transformadores e linhas de transmissão.
- f) Divisão de Manutenção Mecânica de Unidades Geradoras (SMMU.DT): Responsável pela manutenção mecânica de unidades geradoras.

O gerenciamento das atividades de manutenção é realizado fundamentalmente com a utilização do Sistema de Operação e Manutenção (SOM), que é definido como:

método gerencial de normatização, planejamento, acompanhamento e avaliação das atividades de operação e manutenção das áreas elétrica, mecânica e civil, com base nas modernas técnicas e processos consolidados a partir da experiência adquirida por empresas do setor elétrico e pela própria Itaipu. (Itaipu Binacional, 1995, p. 7/36)

O Sistema de Operação e Manutenção (SOM) é composto de vários subsistemas, dos quais destacam-se para este trabalho o Subsistema de Manutenção Periódica (SMP) e o Subsistema de Manutenção Aperiódica (SMA).

O documento base do SMA é a Solicitação de Serviço Aperiódica (SSA). Toda falha ou defeito em equipamentos da Central é registrada em uma SSA, que pode ser emitida tanto por pessoal de manutenção quanto por pessoal de operação.

Tanto a execução da manutenção como o uso da ferramenta gerencial que é o SOM requerem treinamentos específicos. Já é parte integrante da cultura do pessoal de manutenção que todos devem estar treinando continuamente e a Superintendência

tem a política de fixar metas anuais de homens-hora de treinamento, metas estas que são cumpridas e, por vezes, ultrapassadas.

O treinamento atual do pessoal de manutenção é ministrado por instrutores internos (empregados) e externos (consultores). Não existe ainda uma metodologia única de diagnóstico de necessidades, pois cada gerência utiliza seus próprios critérios. Atualmente é dada ênfase aos treinamentos técnicos direcionados aos equipamentos instalados. Os treinamentos na área de qualidade e gerenciamento são usualmente colocados na classe de treinamentos corporativos e, desta forma, ministrados para empregados de diversas áreas da empresa.

3.4 Método atual de Controle das Falhas Humanas

Cabe ao Departamento de Manutenção, como parte de sua função de gerenciar eficazmente os recursos humanos à sua disposição para executar a manutenção, controlar a incidência de falhas humanas. Isto é feito mediante emissão de relatório denominado Relatório de Anomalias em Serviços (RAS) emitido pela divisão onde tenha ocorrido o acidente ou quase acidente, com a participação dos empregados envolvidos.

O modelo atual foi elaborado pelo próprio Departamento de Manutenção, tendo como base os Relatórios de Anomalia das áreas de produção das indústrias (Campos, 1994, p.203). Adaptações foram realizadas para permitir a utilização de uma ferramenta usualmente utilizada na produção de bens na área de produção do serviço de manutenção.

A emissão dos Relatórios de Anomalia em Serviços (RAS) (ver exemplo no Anexo 6) é feita, de maneira geral, mediante cobrança gerencial, o que evidencia a falta de conscientização pelos gerentes, supervisores e técnicos das vantagens do estudo sistemático de acidentes como método preventivo. Não existia, até o momento, um estudo sistemático de todos os relatórios emitidos. Quase todos os supervisores, na

área de manutenção, receberam treinamento de ferramentas da qualidade e são incentivados a utilizá-las na análise das ocorrências, porém existe uma resistência cultural em reconhecer e expor os erros. A posição mais comum é encarar como uma fatalidade e que nada pode ser feito para evitar. O Diagrama de Ishikawa (causa e efeito) tem sido utilizado algumas vezes, porém como, sua utilização não é obrigatória pela norma interna atual, muitos preferem não utilizá-la.

No item 2.3.2 (Por que as organizações têm dificuldade em aprender com os erros humanos?) foi enfatizado o problema de que os dados representam apenas uma amostra. Prova disso é que em 1998 foram emitidos oito relatórios e em 1999 já foram emitidos 24. Isto não significa um aumento do número de incidentes, mas é resultado de uma ação gerencial mais forte na exigência de apresentação de relatórios. Carvalho (1996, s.p.), referindo-se aos acidentes de trabalho informa que no Brasil, em 1990, o sub-registro de acidentes chegou à surpreendente cifra de 74%. Se o acidente de trabalho, que implica também em uma obrigação legal de notificação, deixa de ser relatado nesta proporção, o que dizer de incidentes e falhas humanas que não resultam em danos pessoais e, algumas vezes, podem passar despercebidos?

Segundo Allen Jr. et al. (1997, p.17), há vários fatores da cultura organizacional que podem afetar um sistema de controle de erros de manutenção, mas o que mais afeta é a história da organização com respeito a punição para erros de manutenção. Algumas organizações têm uma história de punição aos técnicos por erros. Esta punição pode tomar a forma de dias de suspensão sem pagamento, redução do pagamento por certo período de tempo ou mesmo demissão. A punição têm sido encontrada uniformemente (para a maioria dos erros) ou aleatoriamente (somente para certos erros - os mais custosos), e os técnicos freqüentemente não vêem a relação entre o erro e a punição. Neste contexto, os técnicos são reticentes em falar sobre erros. Allen Jr. et al. (1997, p.17) recomendam o método denominado Auxílio à Decisão para Erros de Manutenção (MEDA - *Maintenance Error Decision Aid*) e no âmago do processo de investigação deste método está uma entrevista com o técnico que cometeu o erro, assim não pode ser o método implementado até que ocorra

uma mudança na política de punições da organização. No caso da Itaipu, a Circular Normativa que regulamenta o assunto deixa claro que o objetivo dos relatórios não é a punição. Porém, assim mesmo, existe uma resistência dos executantes de manutenção em emitir relatórios de falhas humanas.

Por outro lado, na Itaipu, estão em processo de instalação e comissionamento dois novos sistemas informatizados, o SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition* – Sistema Supervisor de Controle e Aquisição de Dados) e o MONDIG (Monitoramento e Diagnóstico de Unidades Geradoras). Estes novos sistemas tornarão o macro-sistema da Usina mais complexo e desta forma a probabilidade de erros humanos é maior (LI, Yiqun e Zhiliang, 1996, p.21).

3.5 Ordens de Serviço

Para melhor compreensão dos relatórios de anomalia existentes, é conveniente situá-los no universo das ordens de serviço.

Na Itaipu, conforme o Sistema de Operação e Manutenção (SOM), as ordens de serviço são chamadas de SSAs (Solicitações de Serviço Aperiódicos) e SSPs (Solicitações de Serviços Periódicos).

As SSAs abrangem a manutenção corretiva (correção de falhas), manutenção preventiva aperiódica (correção de defeitos) e outros serviços não caracterizados como manutenção, como, por exemplo, modificações de projeto a serem implantadas no campo.

As SSPs compreendem a manutenção preventiva periódica.

Desta forma apresenta-se a seguir as tabelas 8 e 9 com as SSAs e SSPs de cada divisão, no intuito de demonstrar a quantidade de serviço executado por cada área do Departamento de Manutenção.

As tabelas 8 e 9 mostram os totais de SSAs e SSPs de 1998 e 1999. Cada coluna representa uma das seis divisões executivas. O total de cada coluna representa o total de ordens de serviço de cada divisão. Assim, por exemplo, a SMMG.DT executou, em 1998, 3 167 ordens de serviço aperiódicas e 769 ordens de serviço periódicas.

Tabela 8 - Solicitações de Serviço em 1998

	SMMA	SMMC	SMME	SMMG	SMMT	SMMU	Total
SSA	1 136	1 299	2 238	3 167	1 768	2 055	11 663
SSP	1 295	468	392	769	759	275	3 958

Fonte: Itaipu Binacional - SOM (on line)

Tabela 9 - Solicitações de Serviço em 1999

	SMMA	SMMC	SMME	SMMG	SMMT	SMMU	Total
SSA	1 237	1 252	2 198	3 618	1 600	2 074	11 979
SSP	1 282	516	403	805	612	306	3 924

Fonte: Itaipu Binacional - SOM (on line)

3.6 Os Relatórios de Anomalias existentes

As quantidades de solicitações de serviço, mostradas nas tabelas 8 e 9, são aproximadas nos dois anos considerados, o que demonstra uma quantidade estável de trabalho. Também deve-se esperar uma quantidade de anomalias aproximadamente igual nos dois anos considerados. Porém, a de 1999 é mais de três vezes maior, o que pode ser explicada pela já citada ação gerencial e o que sugere que muitos erros não eram informados. Tampouco há a certeza de que em 1999 todos os erros tenham sido informados, o que mais uma vez justifica a ação gerencial firme e também justifica este trabalho na medida em que se propõe a apontar medidas que estimulem a notificação voluntária.

Os relatórios são emitidos há cerca de uma década porém somente a partir de 1998 passaram a ser feitos com critérios mais exatos. Assim este trabalho limita-se à análise destes dois anos.

Até 1998 o relatório era chamado de Comunicação de Ocorrência Técnica (COT). A partir de 1999, devido a estudos realizados para aprimorar o controle e dar um nome mais consistente com sua finalidade mudou-se para Relatórios de Anomalias em Serviços, pois Ocorrência Técnica era um nome muito genérico que poderia confundir-se com outros relatórios técnicos existentes. Os relatórios emitidos em 1998 e 1999 são mostrados nas tabelas 10 e 11, respectivamente. A partir do estudo feito em 1999, o controle gerencial passou a ser realizado com mais rigor. Desta forma, haviam sido emitidos oito relatórios em 1998 e foram emitidos 26 em 1999. Trata-se do conhecido fenômeno de subnotificação de acidentes, que aqui minimizado devido a uma firme ação gerencial.

Tabela 10 - Relatórios de 1998

Relatório	Divisão	Equipamento
01/98	SMMT	Seccionadora
02/98	SMMT	Transformador
03/98	SMMT	Quadro TAP-01
04/98	SMMC	Tubulações
05/98	SMMC	Casa de Relés
06/98	SMME	TB-01 Proteção
07/98	SMMU	Comporta
08/98	SMMG	Gerador CO2
09/98	SMMU	Mancal Guia

Tabela 11 - Relatórios de 1999

Relatório	Divisão	Equipamento
01/99	SMMG	KH-03
02/99	SMME	U13
03/99	SMME	Barra B2
04/99	SMMU	U08
05/99	SMMU	U13
06/99	SMMA	Antiincêndio
07/99	SMMG	QJ-04
08/99	SMMG	U08
09/99	SMMA	Servomotor
10/99	SMMU	RV-06
11/99	SMMC	Tampas Canaletas
12/99	SMMT	TU-16
13/99	SMMA	Bombeiros
14/99	SMMG	QQ03
15/99	SMMA	Guincho
16/99	SMMU	Trocador de Calor
17/99	SMME	Quadro 2R6
18/99	SMMA	Tubulação
19/99	SMMG	QM-02
20/99	SMMG	Rotor
21/99	SMMT	Trocador de calor
22/99	SMMU	Trocador de calor
23/99	SMMT	Barramento Blindado
24/99	SMMG	Ponte N4
25/99	SMMG	CO2
26/99	SMMT	Transporte

O Relatório de Anomalia em Serviços (RAS) está descrito no Anexo 5. O Anexo 6 mostra um relatório típico.

Como conclusão para este capítulo, pode-se afirmar que a situação na área de manutenção da Itaipu Binacional reúne as condições, citadas em Bibliografia, que caracteriza um sistema homem-máquina complexo e, portanto, existem muitas situações onde podem ocorrer falhas humanas. Um importante passo já foi dado com a criação dos relatórios de anomalias que permitiu a coleta de uma quantidade de dados suficiente para algumas análises desde que seja determinado um modelo, o que é feito no capítulo seguinte.

4 MODELO PROPOSTO PARA REGISTRO, CONTROLE E ANÁLISE

4 MODELO PROPOSTO PARA REGISTRO, CONTROLE E ANÁLISE

O objetivo da análise a seguir é chegar-se às causas básicas das falhas humanas, porém nem todas apresentam o mesmo impacto na geração e transmissão de energia e nem tampouco provocam os mesmos danos, pois os trabalhos de manutenção são muito variados. Desta forma, propõe-se os parâmetros impacto sobre a geração, danos e tipo de falha, conforme indicado a seguir. Estes parâmetros foram então aplicados à análise dos Relatórios de Anomalia.

São propostas por este trabalho três classificações básicas que são:

- o impacto sobre a geração e transmissão de energia;
- os danos a pessoas ou instalações; e
- tipos de falhas humanas.

Sucintamente, o impacto determina as conseqüências da falha, os danos seus custos e o tipo de falha visa determinar suas causas.

4.1 Impacto sobre a geração e transmissão de energia

O objetivo desta classificação é determinar quais as conseqüências da falha para a geração e transmissão de energia. Esta classificação é de ordem prática e visa determinar as falhas mais críticas para o sistema de geração e transmissão de energia. Propõe-se, portanto, quatro níveis de impacto, conforme descrito a seguir e sintetizado na tabela 12. A classificação proposta é a mais simples e abrangente possível para contemplar a variedade de equipamentos da Central Hidrelétrica.

Tabela 12 - Impactos sobre capacidade de geração ou transmissão

Nível	Descrição
1	Sem conseqüências
2	Com danos materiais ou pessoais porém sem desligamentos
3	Desligamento acidental - sem perda de capacidade de geração ou transmissão
4	Desligamento acidental - com perda de capacidade de geração ou transmissão

O nível 1 (sem conseqüências) refere-se àquelas falhas que não produzem danos materiais nem pessoais e nem tampouco provocam desligamentos acidentais de equipamentos. Seriam aqueles incidentes sem nenhum efeito imediato no funcionamento do sistema. Porém sua análise é extremamente importante pela oportunidade de promover melhorias preventivas.

O nível 2 (com danos materiais ou pessoais porém sem desligamentos) refere-se àquelas falhas onde houve danos materiais ou pessoais porém não houve desligamento de equipamentos da Central. Neste nível podem, por exemplo, ser danificados instrumentos de medição que não fazem parte das instalações permanentes da Central.

O nível 3 (desligamento acidental - sem perda de capacidade de geração ou transmissão) refere-se àquelas falhas que provocaram desligamento acidental de equipamento porém sem afetar a capacidade de geração ou transmissão de energia. Neste nível podem, por exemplo, ser desligados quadros de controle de função secundária no sistema e, portanto, não afetando a geração e transmissão de energia.

Finalmente, o nível 4 (desligamento acidental - com perda de capacidade de geração ou transmissão) refere-se às falhas que produziram desligamento acidental de equipamentos fundamentais do sistema e, portanto, reduzindo a capacidade de geração ou transmissão de energia.

4.2 Danos

O objetivo desta classificação é classificar as falhas conforme os danos ocasionados internamente à empresa. No capítulo 2 (Fundamentação Teórica) foi exposto que a classificação quanto ao custo das falhas é problemática devido à grande variabilidade. Desta forma, este trabalho propõe uma classificação que reflete os custos dos erros, conforme exposto no item 2.3.1 (Tipos de erros humanos),

baseado na classificação proposta por Kantowitz e Sorkin (1983, p. 32) referente aos custos dos erros, porém de uma forma simples. Assim, os danos foram classificados em quatro níveis, conforme sintetizado na tabela 13, e descrito a seguir.

Tabela 13 - Danos

Nível	Descrição
1	Nenhum
2	Materiais
3	Pessoais
4	Materiais e Pessoais

Como nível 1 são considerados as falhas que não produzem danos de nenhuma espécie, porém provocam retrabalho, como qualquer falha o faz. Ressalte-se porém que seu estudo é importante por revelar deficiências do sistema que, ao serem estudadas, proporcionam a oportunidade de melhorias de caráter preventivo.

De nível 2 são consideradas as falhas que provocam danos materiais, como, por exemplo, danos ou destruição de ferramentas, instrumentos, dispositivos ou equipamentos.

De nível 3 são consideradas as falhas que provocam ferimentos pessoais (acidentes de trabalho).

Como nível 4 são consideradas as falhas que provocam danos materiais e ferimentos pessoais simultaneamente.

4.3 Tipos de falhas humanas

Quanto aos tipos de falhas, adota-se aqui a classificação de Reason apud Viller et al. (1999, p.665), conforme descrita no item 2.3. Desta forma é considerado se a falha foi devida a violação ou erro e neste caso se foi devida a distração, lapso ou engano, conforme sintetizado na tabela 14.

Tabela 14 - Tipos de falhas

Nível	Tipo	Descrição Sucinta
1	Erro/Lapso	Esquecimento de uma etapa
2	Erro/Distração	Ação errada acidentalmente produzida
3	Erro/Engano	Erros de interpretação (conhecimentos)
4	Violação	Não observância de norma pré-existente

Pela sua grande importância para este trabalho ressaltamos aqui o que já foi apresentado na fundamentação teórica deste trabalho com mais detalhes. Esta classificação não foi aplicada antes, no Brasil, a falhas humanas em sistemas elétricos.

Erros são não-intencionais e decorrem de falhas de atenção (**Lapso e Distração**) ou falhas de conhecimento (**Engano**).

Distrações representam a ocorrência de uma ação alternativa (e incorreta). Por exemplo, deveria ser produzir a ação A (fixar um condutor elétrico no ponto A) e foi produzida a ação B (fixado o condutor no ponto B) ocasionando um curto-circuito. Distrações podem ser trabalhadas com ações ergonômicas (por exemplo, uso de cores diferentes ou uso de dispositivos à prova de erros, como formatos que não se encaixem) ou com treinamento apropriado em métodos de trabalho. Algumas das ações ergonômicas podem ser inviáveis uma vez que a instalação está pronta, porém outras, especialmente aquelas a serem aplicadas em instrumentos, ferramentas e dispositivos utilizados pelos executores de manutenção, são extremamente simples e de baixo custo, porém somente podem ser implantadas com grande participação do pessoal executor durante o processo de análise.

Lapsos representam a falha em produzir uma ação. Representam o esquecimento de uma etapa. Por exemplo, se em uma atividade, existe um seqüência que implique em primeiro colocar um cabo de aterramento, segundo executar um reparo e, terceiro, retirar o aterramento colocado; o esquecimento de retirar o cabo de aterramento é um lapso.

Violações são intencionais (deliberadas) embora com o objetivo de agilizar ou apressar o serviço e jamais com intenção de causar danos. Se houvesse a intenção de causar danos seria uma sabotagem, o que não é estudado neste trabalho.

Para analisar cada relatório e determinar o tipo de falha, foram aplicados os fluxogramas mostrados nas figuras 21 e 22, baseados na classificação de Reason.

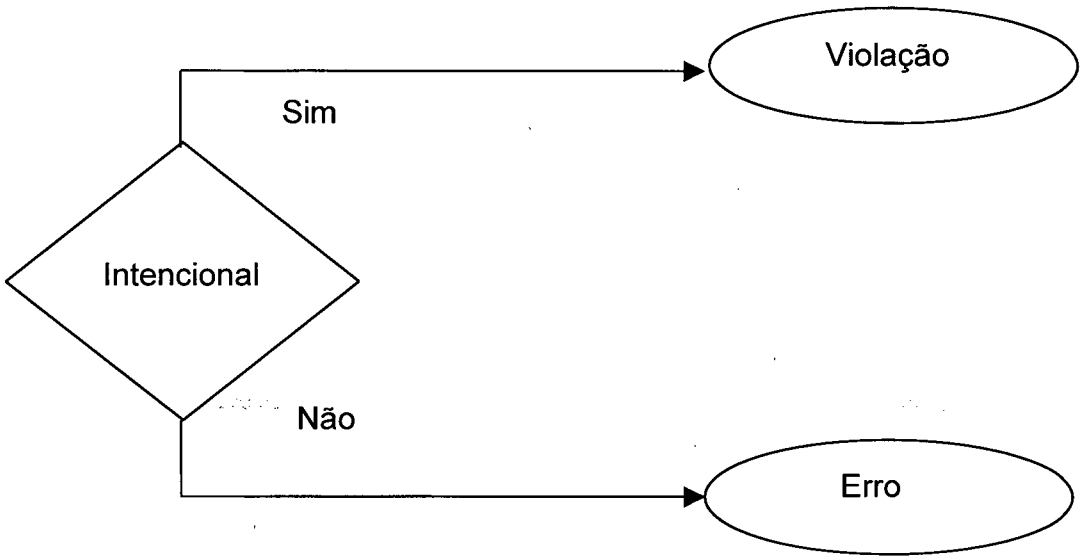


Figura 21 - Fluxograma Erro x Violação

A primeira informação a analisar no relatório é se havia ou não a intenção de fazer a tarefa de forma diferente do procedimento estabelecido. Em caso afirmativo, trata-se de uma **violação** dos procedimentos. Em caso negativo, trata-se de um erro. Ressalta-se, por sua importância no contexto da cultura das organizações, que de uma forma ou de outra, não há dolo (intenção de produzir danos) ou culpa do indivíduo.

Caso a resposta anterior tenha sido negativa e, portanto, trata-se de um erro, deve-se, no fluxograma da figura 22, determinar se houve engano, distração ou lapso.

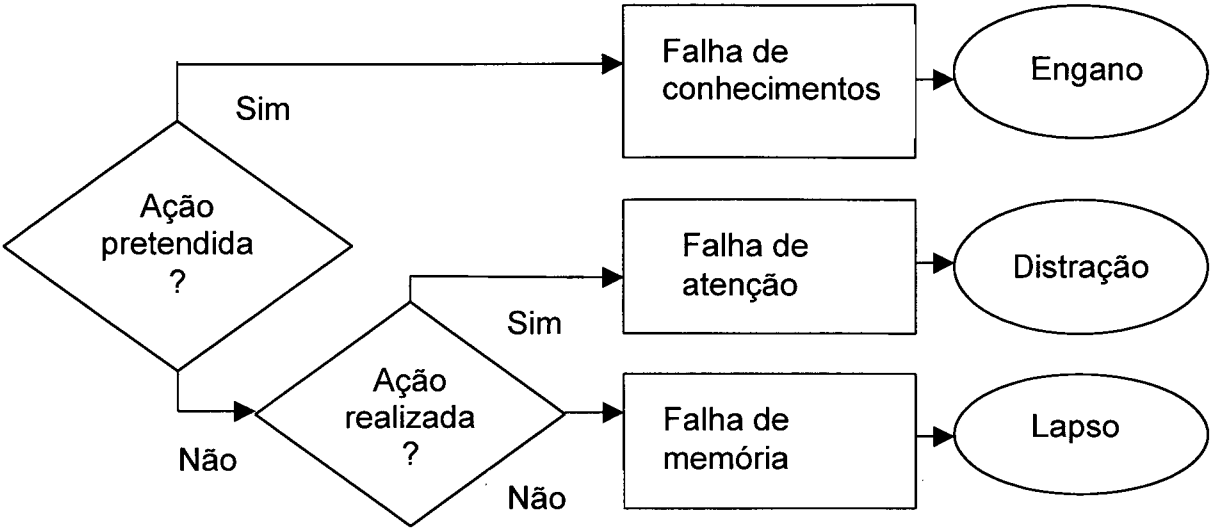


Figura 22 - Fluxograma Engano x Distração x Lapso

A primeira pergunta a fazer é se houve intenção de produzir aquela ação. Se a resposta for afirmativa e, então, a intenção era exatamente aquela, trata-se de uma **falha de conhecimentos**, ou seja um **engano**, uma vez que o indivíduo planejou exatamente aquela ação, acreditando ser a correta.

Se a resposta for negativa, ou seja aquela ação não foi planejada, deve-se perguntar se o incidente ou acidente foi causado por uma ação realizada ou por falta de uma etapa. Se foi por uma ação realizada, trata-se de uma **falha de atenção**, ou seja, uma **distração**. Se, ao contrário, o que produziu a incidente/acidente foi justamente o fato de não ter realizado uma ação, indo diretamente à etapa seguinte, trata-se de uma **falha de memória**, ou **lapso**.

A compreensão do mecanismo de falhas na mente humana possibilita a abertura de um grande leque de ações preventivas direcionadas a cada caso. Por exemplo, determinadas empresas dão cursos de direção defensiva (ação de treinamento técnico) a indivíduos flagrados em excesso de velocidade durante horário de trabalho. Ora, o excesso de velocidade é uma **violação** de uma norma (que se supõe conhecida) e o treinamento técnico só é recomendado em caso de **engano**. O indivíduo certamente não compreenderá a relação entre as duas coisas (porque, na

verdade, não há relação) e interpretará o fato como uma **punição**. Medidas eficazes neste caso incluiriam, por exemplo, divulgação das normas e análise das tarefas que o indivíduo executava no momento da violação para compreender os motivos de sua pressa em horário de trabalho e, então, buscar melhorar seus métodos de trabalho.

4.4 Outras classificações

Procedeu-se também a outras tabulações dos dados disponíveis, com o objetivo de permitir uma visão mais clara da incidência das falhas. Desta forma foram consideradas:

- a) falhas por função, para verificar se existe incidência maior de falhas em determinado grupo funcional de empregados;
- b) falhas por período do dia, para verificar se há incidência significativa de falhas pela manhã, pela tarde ou pela noite;
- c) falhas por dia da semana, para verificar se há incidência significativa de falhas em determinado dia da semana; e
- d) falhas por divisão, para verificar em que divisões são relatadas mais falhas.

Algumas outras análises possíveis foram desconsideradas por não se aplicarem à situação em foco. Assim, não foi feita tabulação por sexo pois todos os engenheiros, técnicos de manutenção e outros envolvidos na execução da manutenção são do sexo masculino. Tampouco considerou-se o tempo de emprego e o tempo na função, pois todos os envolvidos têm mais de 10 anos na empresa e na área de manutenção.

Convém ressaltar que os dados estavam disponíveis na empresa, embora dispersos. Com exceção da classificação por tipo de falha (violação, erro/distração, erro/lapso, erro/engano), as demais classificações já eram possíveis, porém nunca foram feitas principalmente pelas questões culturais já levantadas.

4.5 Potencial de Acidente

O maior problema detectado no método atual não é o relatório em si, mas a grande resistência cultural em emití-lo, resistência esta detectada até mesmo em nível gerencial. Assim, uma melhoria considerável seria a introdução de um incentivo à notificação.

Propõe-se, então, a criação de um índice de Potencial de Acidente que seria a proporção entre os acidentes de trabalho e os relatórios de anomalia emitidos no período:

$$\text{Potencial de Acidente} = \frac{\text{Quantidade de acidentes de trabalho}}{\text{Quantidade de Relatórios de Anomalia}}$$

Como os relatórios de anomalia devem ser emitidos para quaisquer incidentes, quase-acidentes e acidentes, este índice poderá apresentar os seguintes valores:

Indeterminado, para aquela área que não teve nenhum acidente e tampouco emitiu nenhum relatório de anomalia.

Zero, para aquela área que não teve acidente, porém emitiu ao menos um relatório de anomalia.

Valores entre zero e infinito para as áreas que tiveram acidentes porém apresentaram relatórios de anomalia. O valor infinito será para aquelas áreas que tiverem pelo menos um acidente e não tiverem emitido nenhum relatório de anomalia.

Desta forma haverá uma tendência a ser atribuído índice indeterminado ou infinito às áreas que não emitirem relatórios e com isto poderá ser invertida a crença generalizada atual de que um grande número de relatórios de anomalias é algo ruim em si, já que o potencial de acidente será tanto menor quanto maior for a quantidade de anomalias documentadas. Deve ser observado que não há, como pode parecer, um aumento de burocracia, pois estamos falando em algumas dezenas de relatórios

ao ano em todo o Departamento (seis divisões), enquanto as ordens de serviço (SSAs e SSPs) são vários milhares. Além disso a análise de falhas e, conseqüentemente sua prevenção, é uma mais nobres tarefas do engenheiro e desta forma seria mais valorizando o trabalho de prevenção do que o trabalho de 'bombeiro' referido previamente.

Como exemplo da aplicação deste índice, suponha-se uma divisão A que tenha, em um período de um mês, apresentado dois relatórios de acidentes de trabalho (registrados por obrigação legal) e tenha no mesmo período emitido quatro relatórios de anomalias registrando incidentes de pouca importância. Seu índice, pela fórmula proposta, seria 0,5. Outra divisão B, que tenha tido também dois acidentes, porém tenha apresentado apenas um relatório de incidentes, teria um índice igual a dois. Desta forma o potencial de acidente da divisão B é dois contra 0,5 da divisão A. Ou seja, a mensagem é clara: a divisão B, por não incentivar o registro de simples incidentes, tem um potencial de acidente quatro vezes maior que a divisão A, embora neste período tenham tido o mesmo número de acidentes.

Este índice seria no mínimo mensal e abrangendo cada divisão do Departamento de Manutenção. A seu critério as Divisões poderiam fazê-lo com maior frequência e em nível de setor.

Obviamente este índice não mede com precisão o real potencial de acidente, e nem existe até agora nenhum meio seguro de fazê-lo, porém aumentará a quantidade de dados sobre os quase-acidentes e incidentes, o que é exatamente seu objetivo. Desta forma será incutida nos gerentes e trabalhadores em geral a preocupação com a prevenção. Esta é a contribuição deste trabalho: um método de evidenciar as falhas, sistematizar sua análise e ressaltar o objetivo preventivo.

No formulário propõe-se a inclusão, para facilitar a tabulação de dados, campos com tipo de erro, danos e impactos, utilizando a metodologia proposta, que é simples e de fácil aplicação. Estes dados seriam preenchidos, não pela equipe que emite o relatório, mas sim pela equipe (ou pessoa) que realiza a análise.

Com relação ao treinamento do pessoal, propõe-se neste trabalho que seja dada ênfase ao treinamento comportamental e ao uso prático de ferramentas da qualidade, porém diagnosticando previamente quais as aplicações efetivas que cada aluno deve fazer das ferramentas, evitando que o conteúdo seja apenas considerado de cultura geral, sem aplicação prática. A análise dos relatórios mostra que os erros têm ocorrido, em sua maioria, não por enganos (falhas em conhecimentos) mas sim em lapsos e distrações (falhas de memória e atenção), o que demonstra a eficiência do treinamento técnico.

5 APLICAÇÃO PRÁTICA DO MODELO

5 APLICAÇÃO PRÁTICA DO MODELO PROPOSTO

Existem, no total, nove relatórios referentes a 1998 e 26 referentes a 1999. Destes 35 relatórios, dois foram desconsiderados por não ter sido caracterizada a falha (relatórios com informações insuficientes e contraditórias) e outro por relatar falha ocorrida fora da área de manutenção e, portanto, fora do escopo deste trabalho. Foram, portanto, analisados todos os 32 relatórios válidos.

Ressalte-se que são 32 acidentes ou incidentes **relatados**. Conforme explicitado no capítulo 2 (Fundamentação Teórica) não há como saber quantos deixaram de ser relatados. Porém estes 32 foram analisados em detalhes, conforme os critérios descritos a seguir. Convém ressaltar que esta análise tem que ser realizada por outras pessoas diferentes daquelas que elaboraram os relatórios, para que seja uma análise imparcial e restrita aos aspectos citados, pois os relatórios abrangem incidentes e acidentes de áreas de especialização distintas; como elétrica, eletrônica ou mecânica.

Para exemplificar o processo de análise dos relatórios, mostra-se a seguir a sua aplicação ao RAS/07/1999 (Anexo 6):

O relatório deixa claro que o técnico esqueceu-se de realizar uma etapa (retirada da cordoalha de aterramento) e tampouco seu companheiro lembrou-se, embora ambos, como técnicos experientes, soubessem que deveriam fazê-lo. Portanto, ocorreu uma falha tipo 1 (erro/lapso = esquecimento de uma etapa), com impacto 2 (Com danos materiais ou pessoais porém sem desligamentos) e danos 4 (Ambos – pessoais e materiais). O relatório deixa claro que houve esquecimento e sugere que o esquecimento não ocorreria se o dispositivo de aterramento fosse de cor diferente, ou seja, uma medida ergonômica simples poderia evitar o esquecimento de uma etapa (lapso) e, com isso, evitar o acidente.

Deve-se ressaltar que os relatórios foram preenchidos pelas pessoas envolvidas nos incidentes ou acidentes.

A seguir apresenta-se a tabela 15 com uma descrição sucinta dos relatórios de 1998, enquadrando as falhas nas classificações propostas.

Tabela 15 - Relatórios de 1998 com respectiva classificação

Relatório	Divisão	Equipamento	Danos	Impacto	Tipo
01/98	SMMT	Seccionadora	2	2	2
02/98	SMMT	Transformador	1	3	2
03/98	SMMT	Quadro TAP-01	1	3	2
04/98	SMMC	Tubulações	2	2	2
05/98	SMMC	Casa de Relés	2	2	2
06/98	SMME	TB-01 Proteção	1	3	3
07/98	SMMU	Comporta			(1)
08/98	SMMG	Gerador CO2	2	2	3
09/98	SMMU	Mancal Guia	1	2	2

Obs.: (1) Não foi possível caracterizar a falha.

A seguir apresenta-se a tabela 16 com uma descrição sucinta dos relatórios de 1999, enquadrando as falhas nas classificações propostas.

Tabela 16 - Relatórios de 1999 com respectiva classificação

Relatório	Divisão	Equipamento	Danos	Impacto	Tipo
01/99	SMMG	KH-03	4	2	2
02/99	SMME	U13	1	4	3
03/99	SMME	Barra B2	1	3	1
04/99	SMMU	U08	1	1	2
05/99	SMMU	U13			(1)
06/99	SMMA	Antiincêndio	3	1	1
07/99	SMMG	QJ-04	4	2	1
08/99	SMMG	U08	1	1	3
09/99	SMMA	Servomotor	2	2	3
10/99	SMMU	RV-06	3	1	2
11/99	SMMC	Tampas Canaletas	3	1	2
12/99	SMMT	TU-16	2	2	2
13/99	SMMA	Bombeiros			(2)
14/99	SMMG	QQ03	2	2	2
15/99	SMMA	Guincho	3	1	2
16/99	SMMU	Trocador de Calor	3	1	2
17/99	SMME	Quadro 2R6	1	4	1
18/99	SMMA	Tubulação	3	1	4
19/99	SMMG	QM-02	3	1	2
20/99	SMMG	Rotor	1	1	2
21/99	SMMT	Trocador de calor	2	2	3
22/99	SMMU	Trocador de calor	3	1	2
23/99	SMMT	Barramento Blindado	2	1	2
24/99	SMMG	Ponte N4	3	1	2
25/99	SMMG	CO2	2	2	1
26/99	SMMT	Transporte	1	1	4

Obs.:

- (1) Não foi possível caracterizar a falha.
- (2) Falha externa à área de manutenção com danos a equipamentos da Central.

5.1 Distribuição de falhas conforme o Impacto na Geração

A figura 23 mostra a distribuição das falhas por impacto na geração.

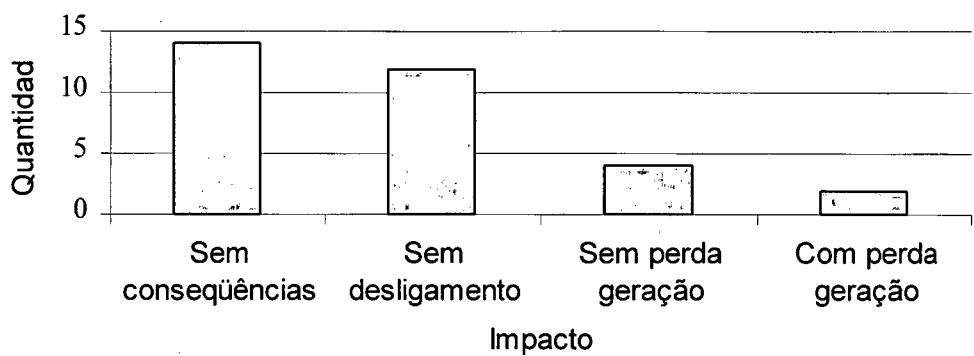


Figura 23 - Falhas por Impacto na Geração e Transmissão de Energia

Observa-se que apenas uma pequena parcela (duas ocorrências) chegaram ao impacto máximo que é a perda da capacidade de geração ou transmissão de energia. Porém o próprio gráfico permite supor que esta é a ponta do *iceberg*, mais uma vez reforçando a necessidade de investigar os pequenos incidentes para evitar-se chegar aos mais graves.

5.2 Distribuição de falhas por Danos

A figura 24 mostra a distribuição das falhas conforme a gravidade dos danos ocasionados. Deve-se ser observado que quando se refere a nenhum dano, na verdade se está desconsiderando o retrabalho que sempre existe em qualquer falha.

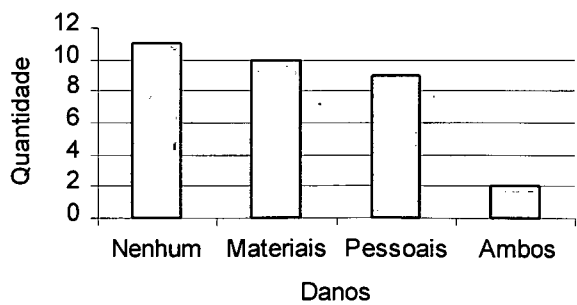


Figura 24 - Falhas conforme os danos ocasionados

5.3 Distribuição de falhas por tipo

A distribuição das falhas por tipo é mostrada na figura 25. Observa-se que a distração é o tipo de falha mais relevante. Observa-se ainda falhas baseadas em atenção (lapso e distração) são muito mais freqüentes que falhas de conhecimento (engano). As violações são praticamente irrelevantes. Pode-se com base nesta figura afirmar que os executantes de manutenção são bastantes disciplinados, pois falhas devidas a desrespeito a procedimentos são muito raras. A pequena incidência de enganos atesta o elevado nível técnico das equipes de manutenção.

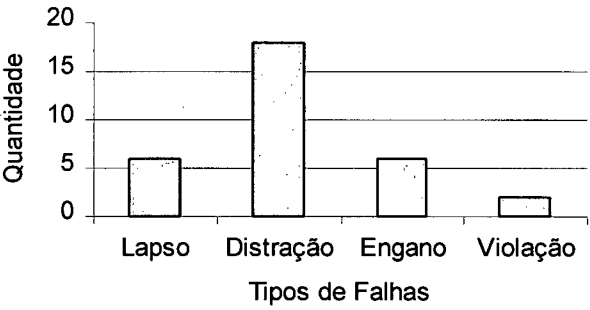


Figura 25 - Falhas por tipo

5.4 Distribuição de falhas por função do empregado

Quanto à função na empresa das pessoas envolvidas em falhas, obteve-se o descrito na figura 26. Como o tipo de falhas preponderante não é baseado em conhecimento, já era esperado que não houvesse uma preponderância de falhas de determinado grupo funcional, nem tampouco que o grupo de menor escolaridade apresentasse uma quantidade de falhas muito maior.

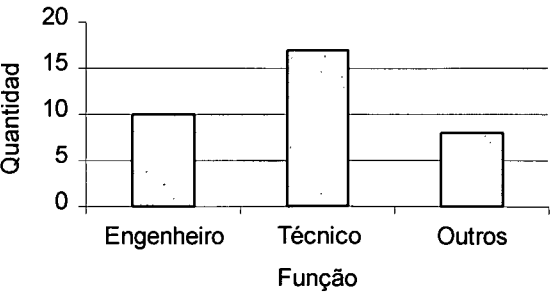


Figura 26 - Falhas por função

5.5 Distribuição de Falhas por período do dia

Buscou-se determinar se havia um período do dia ou um dia da semana em que houvesse mais falhas. No caso de período do dia não é possível afirmar-se que haja influência pois a figura 27 mostra as ocorrências distribuídas de forma bastante equilibrada nos dois períodos, ainda mais se considerarmos que o período da manhã é um pouco mais longo (4,5 horas) que o da tarde (3,5 horas). O trabalho no período noturno é eventual e só ocorre em casos de programações especiais ou atendimento a emergências. Não foi documentada nenhuma falha em período noturno.

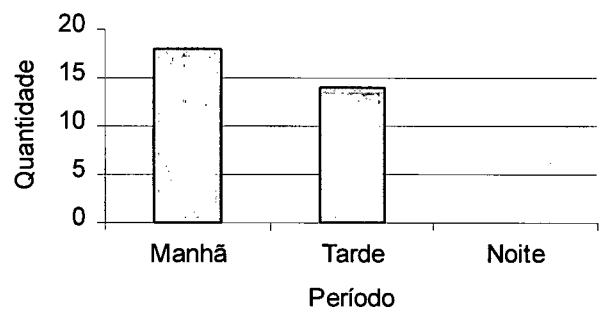


Figura 27 - Falhas por período do dia

5.6 Distribuição de falhas por dia da semana

A figura 28 mostra as falhas por dia da semana. O trabalho aos sábados e domingos só ocorre em ocasiões especiais e no atendimento a emergências, o que explica a baixa incidência de falhas nestes dias.

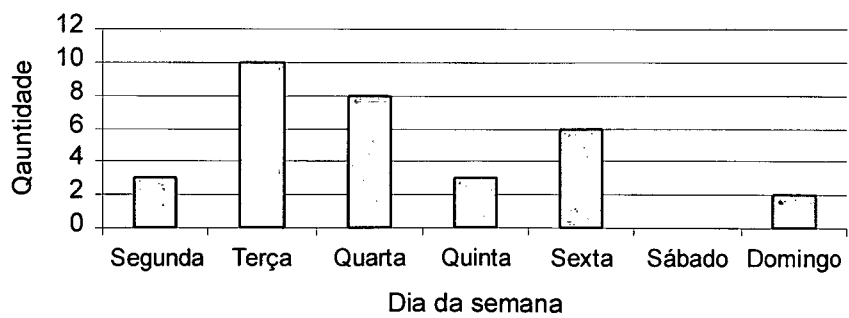


Figura 28 - Falhas por dia da semana

Considerando a distribuição por sete dias e o pequeno número de dados disponíveis, não se pode ainda afirmar que exista uma incidência maior em determinados dias. Porém é um fator que deve ser observado no futuro à medida em que se disponha de maior quantidade de dados.

5.7 Distribuição de falhas por divisão

A figura 29 mostra a distribuição de falhas por divisão. Deve-se salientar que nas áreas elétrica (SMMG.DT e SMMT.DT) e eletrônica (SMME.DT) as falhas, por suas conseqüências, são mais facilmente detectadas e que a área civil (SMMC.DT), por trabalhar de forma independente das demais, dificilmente tem suas falhas detectadas externamente. Nunca é demais lembrar que um número maior de falhas em uma área não é, de forma alguma, um indicador negativo. Ao contrário, pode ser indício de um maior rigor gerencial, ao exigir que todas as falhas sejam documentadas, uma vez que a literatura afirma que existe uma tendência a esconder-se estes dados.

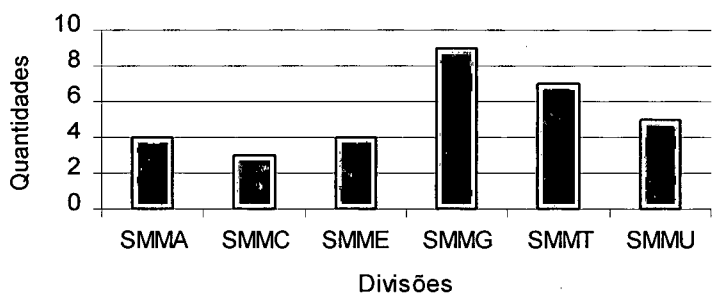


Figura 29 - Falhas por divisão

Da análise dos dados das distribuições apresentadas, conclui-se que os erros vinculados à atenção (lapso e distração) compõem a parte mais significativa da amostra. Devem ser buscadas formas de trabalhar estes aspectos sem, contudo, negligenciar o treinamento técnico. Este trabalho propõe que, nos casos de engano, seja informado qual o treinamento técnico específico que o empregado deve realizar. Também nos casos de violação, propõe-se que seja indicada qual a norma que foi violada e proporcionada divulgação da norma, por exemplo mediante palestras.

Deve-se salientar que as normas, como as leis em geral, se supõem conhecidas, porém uma divulgação adicional sempre é desejável.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Dos temas abordados na Fundamentação Teórica deste trabalho, são de importância fundamental os conceitos de manutenção, sistemas homens-máquina e erros humanos. Os demais temas abordados são complementares para o entendimento do quadro completo da questão de erro humano em uma central hidrelétrica.

Embora a questão de erros humanos seja complexa e raramente gerenciada nas empresas, é possível e necessário tratar deste tema. A indústria aeronáutica e a indústria nuclear aplicam os conhecimentos aqui abordados para melhorar a confiabilidade de seus equipamentos e instalações, demonstrado que é possível gerenciar os erros humanos. Este trabalho propõe aplicar estes conhecimentos com o objetivo de minimizar os erros humanos na manutenção de centrais hidrelétricas em geral.

6.1 Conclusões

Foi estabelecido um método para registro, análise e controle de erros humanos, proposto no objetivo geral deste trabalho, visando a prevenção, quando anteriormente existia apenas um método de registro e, ainda assim, com limitações. Foram também estabelecidas as causas mais frequentes e comuns a todos os erros humanos na manutenção da Central Hidrelétrica de Itaipu., durante um período de dois anos. Mais importante que isto, a aplicação e divulgação deste método deve aumentar a probabilidade de que mais incidentes hoje ocultos sejam relatados, gerando mais dados que tornarão os futuros trabalhos de análise mais precisos e detalhados. Foram apontados caminhos na área de treinamento que possibilitarão o desenvolvimento da consciência crítica dos executores de manutenção.

A constatação de que a maioria dos erros, ao contrário da crença geral, não é consequência de falhas de conhecimento, mais sim de falhas de atenção, abre novas perspectivas de trabalhos na área de treinamento, ao mesmo tempo que

atesta a qualidade e forma com que os treinamentos técnicos vêm sendo ministrados até agora.

O método proposto neste trabalho apresenta algumas limitações, sendo que a mais evidente é a dependência do incentivo às notificações voluntárias de todos incidentes e acidentes, para que haja registros de todos os eventos necessários e conseqüentemente a análise produza resultados eficazes. Mas, se for bem analisado, até mesmo os relatórios referentes a falhas em equipamentos sofrem esta limitação. A grande diferença é a barreira cultural que estimula a emissão de relatórios técnicos e inibe a emissão de relatórios referentes a falhas humanas. Portanto, a missão maior do gerente, nesta questão, é trabalhar para incorporar uma nova cultura de segurança, onde todos os incidentes, mesmo aqueles aparentemente insignificantes, sejam expostos com o objetivo de proporcionar conhecimentos. Uma mudança de comportamento é necessária e este trabalho aponta um caminho possível e viável, uma vez que contribui para desmistificar o erro humano e deixar claro que quando ele ocorre (e ocorre com freqüência maior que normalmente admitida), não é por culpa do indivíduo e sim devido a uma falha do sistema, entendido em sua forma mais ampla. O foco em incidentes em lugar do foco em acidentes deve ser incentivado pela gerência, pois esta é a forma correta de buscar a prevenção de acidentes.

Em relação aos objetivos específicos, este trabalho identificou os fatores relevantes que determinam os erros humanos e evidenciou a importância fundamental do registro de todos os incidentes, mesmo aqueles aparentemente insignificantes. Também ressaltou a importância de um maior formalismo e precisão dos relatórios, na medida em que identificou dois relatórios que não permitem análise devido a sua falta de clareza.

Foi também corroborada, na figura 23 (Impacto), a hipótese inicial de que um grande número de incidentes está associado a um acidente de grandes proporções (com perda de geração e/ou ferimentos pessoais). Quando os grandes acidentes ocorrem sem que haja um histórico de incidentes, em geral isto se deve à deficiência

no registro de incidentes.

6.2 Recomendações para trabalhos futuros

Muitos assuntos abordados no decorrer deste trabalho são de maior complexidade e requerem, portanto, uma atenção diferenciada, o que seria impossível em uma única dissertação.

Recomenda-se, portanto, a realização dos trabalhos descritos a seguir, que complementariam o que foi aqui exposto e abririam novas áreas de pesquisa, contribuindo para reforçar a necessidade de tratamento preventivo à questão das falhas humanas e efetivamente criariam meios práticos de fazer esta prevenção.

Recomenda-se um estudo de uma proposta de um sistema de treinamento específico que aborde de forma científica os aspectos de motivação, comunicação e prevenção de falhas enfocando especificamente as necessidades da área de manutenção, considerando suas necessidades que são muito diferentes daquelas das áreas não diretamente envolvidas na produção. Este estudo deve abranger aspectos de cultura organizacional, cultura de segurança e resistência às mudanças organizacionais e comportamentais necessárias à empresa moderna, em especial buscando proporcionar um ambiente em que as pessoas se sintam motivadas a registrar todos os incidentes, da forma recomendada pelo método proposto neste trabalho.

Recomenda-se também um reestudo do sistema de gerenciamento de operação e manutenção, na Itaipu denominado SOM (Sistema de Operação e Manutenção) em especial do SMA (Subsistema de Manutenção Periódica), SMP (Subsistema de Manutenção Periódica) e SLE (Subsistema de Liberação de Equipamentos) à luz dos conceitos de erro humano e de comunicação apresentados neste trabalho. Este estudo poderia explorar a possibilidade de que os controles do SOM se estendam também às falhas humanas e não apenas às falhas técnicas como é atualmente. Simultaneamente este trabalho poderia explorar a possibilidade de simplificar o

processo de ordens de serviço, denominação genérica que, na Itaipu, pode ser associada com a Autorização de Trabalho. São muitas as evidências e exemplos que um sistema de ordens de serviço demasiadamente complexo e burocrático trabalha contra a segurança.

Para finalizar, um trabalho de grande utilidade para a área de manutenção seria um estudo de questões ergonômicas e, em especial no referente à minimização de erros humanos, durante a etapa de projeto, uma vez que determinados detalhes ainda podem ser alterados nos projetos das duas novas unidades geradoras a serem instaladas. Recomenda-se especial atenção a aspectos de comunicação visual e formal para minimizar a possibilidade de erros por distração ou lapso, que são os mais comuns na atividade de manutenção.

GLOSSÁRIO

GLOSSÁRIO

No decorrer da elaboração deste trabalho foi crescendo a necessidade de incluir-se um glossário, devido à crescente utilização de novos termos ou termos com novas acepções. Considerando que grande parte das referências bibliográficas relativas aos erros humanos e à manutenção está em inglês, decidiu-se incluir também o vocábulo original (quando fosse o caso) no sentido de buscar mais clareza e contribuir para o desenvolvimento do estudo destas questões.

A

Acidente (accident) – O que é casual, fortuito, imprevisto.

Acidente do trabalho – Lesão corporal, perturbação funcional ou doença, produzida pelo trabalho ou em consequência dele.

Amigável (*user friendly*) – Diz-se de um sistema (em geral informatizado) em que a compreensão do processo, pelo usuário, é fácil e intuitiva.

Anomalia - Desvio acentuado de um padrão normal; anormalidade, desigualdade, irregularidade. Também chamada não-conformidade.

Ativo fixo (*asset*) – Acervo ou bem material de propriedade de uma empresa. Na contabilidade, também chamado de ativo imobilizado.

B

Blackout – Desligamento total de um sistema elétrico.

Brainstorming – técnica de solução de problemas mediante reunião com livre apresentação de idéias (do inglês *brain* = cérebro e *storm* = tempestade).

C

Comissionamento (*commissioning*) – Testes realizados em equipamentos, logo após sua montagem na instalação e antes de sua colocação em serviço, para verificar se está apto a desempenhar as funções para as quais foi projetado.

Confiabilidade (*reliability*) – Probabilidade de que um item ou uma máquina funcionem corretamente em condições esperadas durante um determinado período de tempo.

Conformidade – Atendimento a requisitos especificados.

Controlar - Medir e monitorar os resultados e seus parâmetros.

D

Defeito (*defect*) - Evento que altera as condições operativas de um equipamento, porém sem impedi-lo de cumprir sua função.

Disjuntor (*circuit breaker*) - Equipamento cuja função é realizar a interrupção da corrente elétrica em um circuito.

Disponibilidade (*availability*) - capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado.

Distração (*slip*) - erro humano provocado pela falta de atenção, produzindo outra ação diferente da desejada.

E

Eficácia - capacidade de um item atender a uma demanda de serviço de determinadas características quantitativas. Fazer as coisas certas.

Eficiência - medida de comparação entre o que foi feito e o que deveria ser feito. Fazer certo as coisas.

Engano (*mistake*) - erro humano provocado por falha de conhecimentos.

EPI – Equipamento de Proteção Individual. Dispositivo utilizado por um trabalhador para minimizar ou evitar lesões pessoais em casos de acidentes. Exemplo: botina e capacete.

EPRI – *Electrical Power Research Institute (USA)* – Instituto de Pesquisa de Energia Elétrica.

Erro (*error*) – ação que produz resultados diferentes dos esperados.

F

Falha (*failure*) – Evento que impossibilita um equipamento de cumprir sua função.

Flexibilidade - Aplicação para variadas coisas ou aplicações.

H

Habilidade – Capacidade, aptidão e destreza para executar um determinado serviço.

I

Impacto – Influência significativa.

Incidente – Episódio, circunstância accidental. Neste trabalho consideram-se incidentes aqueles episódios em que houve alguma anormalidade, porém sem danos ou vítimas pessoais.

L

Lapso (*lapse*) - Erro humano causado pelo esquecimento de uma etapa em um trabalho.

Linha de Transmissão - Grupo de equipamentos cuja função é transmitir a corrente elétrica em alta tensão.

M

Manutenção (*maintenance*) - ações necessárias para que um item seja conservado ou restaurado de modo a poder permanecer de acordo com uma condição especificada.

Mantenibilidade (*maintenability*) - capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas.

Mostrador (*display*) - Tela utilizada em controles.

Motivação - Energia psicológica ou tensão que põe em movimento o organismo humano, determinando um dado comportamento.

Multi-disciplinar – Em relação a conhecimentos ou formação escolar, designa a formação com conhecimentos em diversas áreas, ao contrário da formação de especialista. São utilizadas as expressões polivalente ou multi-habilitado para o profissional com esta formação. Em inglês *multi-skilling* = multi-habilitação.

N

Necessidade – O que não pode ser de modo diverso do que é, indispensabilidade.

O

Operador – indivíduo que supervisiona o funcionamento de equipamentos em uma Central Hidrelétrica. Na indústria em geral, o sentido (diferente da área de Centrais Elétricas) é de qualquer pessoa que utiliza uma máquina na linha de produção

OSHA – *Occupational Safety and Health Administration (USA)* – Administração de Segurança e Saúde Ocupacional – Órgão federal americano responsável por saúde ocupacional, ergonomia, segurança e acidentes do trabalho.

P

Prevenção – Precaução para evitar qualquer mal.

Perda – Dano, prejuízo.

Polivalente – ver multi-disciplinar.

Q

Qualidade – totalidade de características de uma entidade que lhe confere a capacidade de satisfazer as necessidades explícitas e implícitas (do cliente, com o produto).

R

Realimentação (*feed-back*) – Retorno para a entrada de parte da produção de uma máquina, sistema ou processo.

T

Transformador (*transformer*) - Equipamento de grande importância em sistemas elétricos, cuja função é transformar os valores de corrente (ampères) e tensão (volts) em valores mais convenientes para o transporte.

Treinamento - Ação de exercitar-se para determinadas atividades.

TGS - Teoria Geral de Sistemas

Trabalho – Exercício material ou intelectual para conseguir alguma coisa.

V

Violação (*violation*) - ação em desacordo com os procedimentos estabelecidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN JR., Jerry P., RANKIN, William L., SARGENT, Robert A. Maintenance error decision aid. In: TRIENNIAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION, 13, 1997 : Tampere, Finland. *Proceedings...* Finnish Institute of Occupational Health, Helsinki, 1997. v.3, p.15-18.
- ALVES, Sérgio. *Revigorando a cultura da empresa: uma abordagem cultural da mudança nas organizações, na era da globalização*. São Paulo : Makron Books, 1997.
- ATKINSON, William. *The dangers of safety incentive programs* [on line]. *Risk Management*, agosto 2000. Disponível na Internet <<http://proquest.umi.com/pqdlink>> (14/08/2000)
- BAUMAN, Marjorie; STEWART, Jennifer Goodson; VAN COTT, Harold P. Development of maintenance management systems: the vital role of defining organizational interface requirements. In: SYMPOSIUM OF HUMAN FACTORS IN ORGANIZACIONAL DESIGN AND MANAGEMENT, 2, 1986 : Vancouver. *Proceedings...* Amsterdam : Elsevier, 1986. p.273-278.
- BECKMAN INSTITUTE. *Biological intelligence*. Human Perception and Performance Group [online]. University of Illinois at Urbana-Champaign. [online] Disponível na Internet <<http://www.beckman.iuc.edu/reserch/hpp.html>>. (12/06/2000).
- BRANCO FILHO, Gil. *Dicionário de termos de manutenção, confiabilidade e qualidade*. Rio de Janeiro : Abraman, 1996.
- CAMPBELL, John Dixon. *Uptime: Strategies for excellence in maintenance managment*. Portland – Or. : Productivity Press, 1995.
- CAMPOS, Vicente Falconi. *Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia*. Rio de Janeiro : Bloch, 1994.
- CARVALHO, Ricardo José Matos de. Acidentes de trabalho e a modelagem. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16, 1996 : Piracicaba. *Anais...* Piracicaba : UNIMEP, 1996. [CD-ROM].
- CASTRO, David Aguiar de. Confiabilidade, Mitos e Realidades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, 11, 1996 : Belo Horizonte. *Anais...* Rio de Janeiro : ABRAMAN, 1996. p. 115-126.
- CHIAVENATO, Idalberto. *Teoria geral da administração*. 3.ed. São Paulo : McGraw-Hill, 1987.

- CONWAY, Daniel; SALAZAR, Vanessa; BYRD, Sid. *Piper Alpha: the disaster and beyond*. [online]. Disponível na Internet <<http://www.owl.net.rice.edu/~conway/piper/outcome.htm>> (04/07/2000)
- COSSENZA, Orlando Nunes. Técnicas de grupo para resolução de problemas. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 15, 1995 : São Carlos. *Anais...* São Carlos : UFSCar, 1995. p. 1047-1051.
- ESSO BRASILEIRA DE PETRÓLEO. *Alerta! Sistema de prevenção de acidentes*. [S.l. : s.n.] [199-].
- HAVOLD, Jon Ivar. *Culture in maritime safety*. Alesund College. [online]. Disponível na Internet <[URL:http://aea.hials.no/samf/AS%2022793/doc.html](http://aea.hials.no/samf/AS%2022793/doc.html)> (03/07/2000).
- IIDA, Itiro. *Ergonomia*. São Paulo : Edgard Blücher, 1990.
- INTERNACIONAL SOCIETY FOR THE SYSTEMS SCIENCE. [online]. Disponível na Internet <[URL: http://www.iss.org/lumLVB.html](http://www.iss.org/lumLVB.html)> (05/10/2000).
- ITAIPU BINACIONAL. Manual G01 – Descrição Geral do SOM. 1995.
- ITAIPU BINACIONAL. Planejamento SM.DT - 1999. 1998.
- ITAIPU BINACIONAL. Aspectos técnicos do empreendimento Itaipu. Rio de Janeiro : Itaipu Binacional, 1989.
- JOHNSON, Chris. Why human error modeling has failed to help systems development. *Interacting with Computers*. Oxford : Elsevier. v. 11, n.6, p.517-524, jul. 1999.
- KANTOWITZ, Barry H.; SORKIN, Roberto D. *Human factors: understanding people-system relationship*. New York : John Wiley & Sons, 1983.
- KIRAWN, Barry. Human error identification techniques for risk assesment of high risk systems: part 1 – review and evaluation of techniques.. *Applied Ergonomics*, v.29, p. 157-177. London: Elsevier, 1998.
- KAWAMURA, T.; MORI, S.; KAWAGOE, E.; KOBAYASHI, S. Humanware oriented operation and maintenance of substation in Japan. In: CIGRÉ, 1994, Paris, paper 23-103, p.1-6.
- KELLY, Anthony. *Maintenance planning & control*. London : Butterworth, 1989.
- KRANTZ, John H. *Human factors*. [online]. Disponível na Internet. <[URL:http://psych.hanover.edu/classes.html#psy330](http://psych.hanover.edu/classes.html#psy330)> (8/10/1999).

- LASALA, Kenneth P. Human performance reliability: a historical perspective. *IEEE Transactions on Reliability*, New York, v. 47, n. 3, p. 365-371, set. 1998.
- LEFÉVRE, Marcos A. P.; SILVEIRA, José Ricardo da. Blackouts: causas e reflexos sobre a sociedade. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 14, 1997 : Belém-BR. *Anais...* Belém-BR. 1997.
- LI, Zhang; YIQUN, Wang; ZHILIANG, Deng. Human Errors in Complex Man-Machine Systems. In: PAN PACIFIC CONFERENCE ON OCCUPATIONAL ERGONOMICS, 4, 1996 : Taipei. *Proceedings...* Ergonomics Society of Taiwan, Taipei, 1996. p. 21-24.
- LLOYD, Peter. *The basics of brainlining*. [online]. Disponível na internet <<http://www.geocreate.com/Articles/abl101.htm>> (17/04/2000).
- MAHAL, Davider. *The space shuttle Challenger accident*. [on line]. Disponível na Internet <http://www.jlhs.nhusd.k12.ca.us/Classes/Social_Science/Challenger.html/Challenger.html> (04/07/2000).
- MCDONALD, Nick; DALY, Colin; CORRIGAN, Siobhan et al. Human factors task procedures in aviation maintenance. In: TRIENIAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION, 13, 1997 : Tampere, Finland. *Proceedings...* Finnish Institute of Occupational Health, Helsinki, 1997. v.3. p. 58-61.
- MONCHY, François. *A função manutenção: formação para a gerência da manutenção industrial*. São Paulo : Durban, 1989.
- MONTMOLLIN, Maurice de. *A ergonomia*. Lisboa : Piaget, 1990.
- MORAES, Anamaria; MONT'ALVÃO, Cláudia. *Ergonomia: conceitos e aplicações*. Rio de Janeiro : 2AB, 1998.
- MOUBRAY, John. *Reliability-centred maintenance*. 2.ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2000.
- PAIVA, L.A. *Manual de gestão da qualidade total e certificação de empresas: as 7 ferramentas básicas da qualidade*. [online]. Disponível na internet <[URL:http://www2.esb.ucp.pt/tqtoolkit/manuais.html](http://www2.esb.ucp.pt/tqtoolkit/manuais.html)> (15/04/2000).
- SCHOLTES, Peter R. *Times da qualidade: como usar equipes para melhorar a qualidade*. Rio de Janeiro : Qualitymark, 1992.
- SLACK, Nigel; CHAMBERS, Suart; HARLAND, Cristine et al. *Administração da produção*. São Paulo : Atlas, 1996.

STANTON, Neville. *Human error*. [online]. Disponível na internet.

<URL:<http://www.soton.ac.uk/~psycweb/staffpages/nas/error.html>> (08/09/1999).

STANTON, Neville. Task analysis for error identification. In: IEA WORLD CONFERENCE, 1995 : Rio de Janeiro, *Proceedings...* ABERGO, Rio de Janeiro, 1995, p. 774-777.

TAYLOR, Frederick Winslow. *Princípios de administração científica*. 7.ed. São Paulo : Atlas, 1980.

THE ECONOMIST. *Millenium-bug muddle*: why great technologies cause great mistakes. London : The Economist, v. 345, n. 8037, 09 out. 1997.

VILLER, Stephen; BOWERS, John; RODDEN, Tom. Human factors in requirements engineering: a survey of human sciences literature relevant to the improvement of dependable systems development process. *Interacting with Computers*. Oxford : Elsevier, v. 11, n.6, p. 665-698. jul. 1999.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- BERGAMINI, Cecília Whitaker. *Motivação nas organizações*. 4. ed. São Paulo : Atlas, 1997.
- BESTERFIELD, Dale. *Control de calidad*. 4. ed. México : Prentice Hall, 1994.
- BLANCHARD, Benjamin S., VERMA, Dinesh, PETERSON, Elmer. *Maintenability: a key to effective serviceability and maintenance management*. New York : John Wiley, 1995.
- CANÊDO, Letícia Bicalho. *A revolução industrial*. 3. ed. Campinas : UNICAMP, 1987.
- DEJOURS, Cristophe. *O fator humano*. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1997.
- DEJOURS, Cristophe; ABDOUCHELLI, Elizabeth; JAYET, Chritian. *Psicodinâmica do trabalho: contribuições da escola dejouriana à análise da relação prazer, sofrimento e trabalho*. São Paulo : Atlas, 1994.
- DUL, J., WEEDMEESTER, B. *Ergonomia prática*. São Paulo : Edgard Blücher, 1995.
- DUARTE, Francisco; FEITOSA, Vera (org.). *Linguagem e trabalho*. Rio de Janeiro : Lucerna, 1998.
- ECO, Umberto. *Como se faz uma tese*. 14. ed. São Paulo : Perspectiva, 1996.
- GRANDJEAN, Etienne. *Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem*. 2. ed. Porto Alegre : Bookman, 1998.
- GREEN, A. E., BOURNE, A.J. *Reliability theory*. Chichester : John Wiley, 1972.
- HARDINGHAM, Alison. *Trabalho em equipe*. São Paulo : Nobel, 2000.
- HARRINGTON, H. James; Harrington, James S. *Gerenciamento total da melhoria contínua*. São Paulo : Makron Books, 1997.
- IRESON, W. Grant. *Reliability handbook*. New York : McGraw-Hill, 1966.
- ITAIPU HYDROELECTRIC PROJECT: Engineering Features. Itaipu Binacional: 1994.
- KLETZ, Trevor A. *O que houve de errado? casos de desastres em indústrias químicas, petroquímicas e refinarias*. São Paulo : Makron Books, 1993.

- KROEMER, K.H.E., KROEMER, H.J., KROEMER-ELBERT, K.E. *Engineering physiology: bases of human factors/ergonomics*. New York : Van Nostrand Reinhold, 3.ed., 1997.
- LEVITT, Joel. *The handbook of maintenance management*. New York : Industrial Press, 1997.
- MEDEIROS, João Bosco. *Redação científica: a prática de fichamentos, resumos, resenhas*. 3. ed. São Paulo : Atlas, 1997.
- MOTTA, Fernando C. Prestes; CALDAS, Miguel P. (org.). *Cultura organizacional e cultura brasileira*. São Paulo : Atlas, 1997.
- MURREL, Hywel. *Homens e máquinas*. Rio de Janeiro : Zahar, 1978.
- NUNES, Luiz Antonio Rizzatto. *Manual da monografia*. São Paulo : Saraiva, 2000.
- O'CONNOR, Patrick D.T. *Practical reliability engineering*. 2. ed. Chichester : John Wiley, 1985
- PALADINI, Edson Pacheco. *Implantação e avaliação de sistemas de qualidade total*. 2. ed. São Paulo : Atlas, 1995.
- PALADINI, Edson Pacheco. *Gestão da qualidade no processo: a qualidade na produção de bens e serviços*. São Paulo : Atlas, 1995.
- PALADINI, Edson Pacheco. The analysis of the human error: an intelligent approach. In: IEA WORLD CONFERENCE, 1995 : Rio de Janeiro, Brasil, *Proceedings...* Associação Brasileira de Ergonomia, Rio de Janeiro, 1995, p.406-409.
- PEREIRA, Osni Duarte. *Itaipu: prós e contras*. Rio de Janeiro : Paz e Terra, 1974.
- POLOVKO, A. M. *Fundamentals of reliability theory*. New York : Academic Press, 1968.
- RUIZ, João Álvaro Ruiz. *Metodologia científica : guia para eficiência nos estudos*. 2. ed. São Paulo : Atlas, 1989.
- SOUZA, Francisco das Chagas de. *Escrevendo e normalizando trabalhos acadêmicos*. Florianópolis : UFSC, 1997.
- TEANNER, Edward. *A vingança da tecnologia: as irônicas consequências das inovações mecânicas, químicas, biológicas e médicas*. Rio de Janeiro : Campus, 1997.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. *Normas para apresentação de trabalhos*. 6. ed. Curitiba : UFPR, 1996.

WAHRLICH, Beatriz M. de Souza. *Uma análise das teorias de organização*. 5. ed. Rio de Janeiro : FGV, 1986.

WEKEMA, Maria Cristina Catarino. *As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos*. Belo Horizonte : Fundação Cristiano Ottoni, 1995. v.1.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

A Bibliografia a seguir não foi consultada na elaboração deste trabalho. Foi obtida mediante consulta aos trabalhos citados na Bibliografia e nas Referências Bibliográficas e é incluída a título de auxílio a futuros pesquisadores, considerando a dificuldade de obter material sobre este assunto no Brasil.

BAARS, B. J. *Experimental slips and human error: exploring the architecture of volition*. Plenum Press: London, 1992.

BARBER, P. *Applied cognitive psychology*. Routledge: London, 1988.

BERRIEN, F.K. *General and social systems*. New Brunswick, N.J.: Rutgers University Press, 1968.

HURST, R. & HURST, L. R.. *Pilot error: the human factors*. Granada: London, 1982.

LEWIS, C. & NORMAN, D. A., Designing for error. In Norman, D. A. & Draper, S. W. (eds.), *User Centred System Design*. LEA: Hillsdale, N.J., 1986.

NORMAN, D. A., *The psychology of everyday things*. Basic Books: N.Y., 1988.

REASON, J., *Human error*. Cambridge University Press: Cambridge, 1990.

REASON, J. A systems approach to organizational error. In: *Ergonomics*, 38-8:1708, 1995.

REASON, J. *Managing the risks of organizational accidents*. Aldershot : Ashgate Press, 1997.

SINGLETON, W. T. *The mind at work*. Taylor & Francis: London, 1989.

SENDERS, J. W. & Moray, N. P. *Human error*. LEA: Hillsdale, N.J., 1991.

THIMBLEBY, H. Can humans think. *Ergonomics* **34** (10), pp. 1269-1287, 1991.

WICKENS, C. D. *Engineering psychology and human performance*. Harper & Row: N.Y. 1992

ANEXOS

ANEXO 1 - O ACIDENTE DE CHERNOBYL

À 1h24min do dia 26 de abril de 1986, um sábado de manhã, ocorreu o pior acidente na história da geração industrial de energia nuclear. Duas explosões, uma logo após a outra, lançaram ao ar as 1 000 toneladas de concreto da tampa de selagem do reator nuclear número 4 de Chernobyl. Fragmentos fundidos do núcleo 'choveram' na região vizinha e produtos da fissão foram liberados na atmosfera. O acidente provavelmente custou centenas de vidas e contaminou vastas áreas de terra na Ucrânia.

Diversas razões provavelmente contribuíram para o desastre. Certamente, o projeto do reator não era novo - cerca de 30 anos de idade na época do acidente - e havia sido concebido antes da época dos sofisticados sistemas de segurança controlados por computador. Por esta razão, os procedimentos para lidar com emergências do reator dependiam fortemente da habilidade dos operadores. Este tipo de reator também tinha uma tendência para 'sair de controle' quando operado a baixa capacidade. Por esta razão os procedimentos operacionais para o reator proibiam estritamente que fosse operado abaixo de 20% de sua capacidade máxima. Foi principalmente uma combinação de circunstâncias e erros humanos que causaram o acidente. Ironicamente, os eventos que levaram ao desastre foram projetados para tornar o reator mais seguro. Os testes, planejados por uma equipe especialista de engenheiros, foram realizados para avaliar se o sistema de emergência para refrigeração do núcleo podia ser operado durante o giro inercial de uma possível redução de produção do turbogerador 4 no caso de ocorrer uma interrupção de energia externa. Embora este dispositivo de segurança tivesse sido testado antes, não havia funcionado satisfatoriamente e novos testes do dispositivo modificado foram realizados com o reator operando com capacidade reduzida durante o período de teste. Os testes foram programados para a tarde de sexta-feira, 25 de abril de 1986, e a redução da produção da planta começou às 13h00. Logo após às 14h00, entretanto, quando o reator estava operando com cerca de metade de sua capacidade total, o controlador de Kiev solicitou que o reator continuasse fornecendo

eletricidade para a rede local. Na realidade, continuaram ligados à rede até às 23h10. O reator devia ser parado para sua manutenção anual na terça-feira seguinte e a solicitação do controlador de Kiev na realidade reduziu a 'janela de oportunidade' disponível para os testes.

A seguir, há um relatório cronológico das últimas horas antes do desastre, junto com uma análise de James Reason, que foi publicada no *Bulletin of the British Psychological Society* no ano seguinte. Ações significativas dos operadores estão em itálico. São de dois tipos: *erros* (indicados por um "E") e *violações de procedimentos* (marcadas por um "V").

25 abril de 1986

13h00 A redução de capacidade começou com a intenção de conseguir 25% de capacidade para as condições de teste.

14h00 O sistema de emergência para resfriamento do núcleo (ECCS - *emergency care cooling system*) foi desconectado do circuito principal. (Isto era parte do plano de teste.)

14h05 O controlador de Kiev solicitou que a unidade continuasse a suprir a rede. O *ECCS não foi reconectado* (V). (Não se considera que esta violação específica tenha contribuído materialmente para o desastre; mas é indicativa de uma atitude de descuido por parte dos operadores com relação à observância dos procedimentos de segurança.)

23h10 A unidade foi desligada da rede e a redução de capacidade foi continuada para conseguir o nível de capacidade de 25%, planejado para o programa de teste.

26 de abril de 1986

00h28 *Um operador ultrapassou para baixo o ponto de ajuste para a produção*

pretendida (E). A produção caiu para um perigoso 1%. (O operador havia desligado o 'piloto automático' e havia tentado conseguir o nível desejado através de controle manual.)

1h00 Após um longo e intenso esforço, a produção do reator finalmente foi estabilizado em 7% - bem abaixo do nível pretendido e bem na zona de perigo de baixa capacidade. *Neste momento, o experimento deveria ter sido abandonado, mas não o foi (E)*. *Este foi o mais sério erro (como o oposto de violação)*: significou que todas as atividades subsequêntes seriam conduzidas à zona de máxima instabilidade do reator. Isto aparentemente não foi percebido pelos operadores.

1h03 *Todas as oito bombas foram acionadas (V)*. Os regulamentos de segurança limitavam a seis o número máximo de bombas simultaneamente em uso. Isto mostrava uma profunda má compreensão da física do reator. A consequência foi que o aumento do fluxo de água (e redução da fração de vapor) absorveu mais nêutrons, exigindo que mais elementos de controle fossem retirados para sustentar este nível baixo de produção.

1h19 *O fluxo de água de alimentação foi aumentado três vezes (V)*. Parece que os operadores estavam tentando lidar com uma pressão do vapor e nível de água decrescentes. O resultado de suas ações, entretanto, foi reduzir ainda mais a quantidade de vapor passando através do núcleo, exigindo que ainda mais elementos de controle precisassem ser retirados. Também suprimiram a *parada automática do coletor de vapor (V)*. O efeito disto foi desprover o reator de um de seus sistemas automáticos de segurança.

1h22 O supervisor de turno solicitou relatório impresso para estabelecer quantos elementos de controle estavam realmente no núcleo. O relatório indicou somente de seis a oito elementos remanescentes. Era estritamente proibido operar o reator com menos do que 12 elementos. *Apesar disso, o supervisor de turno decidiu continuar com os testes (V)*. Esta foi uma decisão fatal: por isso o reator ficou sem 'freios'.

1h23 *As válvulas da linha de vapor para o turbogerador número 8 estavam fechadas (V).* O objetivo disto era estabelecer as condições necessárias para testes repetidos, mas sua consequência foi desconectar os desengates automáticos de segurança. Esta talvez tenha sido a mais séria violação de todas.

1h24 Foi feita uma tentativa para desligar repentinamente o reator, atuando nos elementos de parada de emergência, mas estes emperraram nos tubos já deformados.

1h24 Duas explosões ocorreram uma logo após a outra. O teto do reator foi lançado para o ar, provocando 30 incêndios na vizinhança.

1h30 Os bombeiros em serviço foram chamados. Outras unidades foram chamadas de Pripyat e Chernobyl.

5h00 Os incêndios externos foram extintos, mas o incêndio do grafite do núcleo continuou por diversos dias,

A investigação posterior do desastre esclareceu diversos pontos significativos que contribuíram para sua ocorrência.

- O programa de testes foi mal planejado e a seção de medidas de segurança era inadequada. Pelo fato de o sistema de emergência para resfriamento do reator (ECCS) ter sido fechado durante o período de testes, a segurança do reator estava na realidade substancialmente reduzida.

- O planejamento dos testes foi colocado em prática antes de ser aprovado pelo grupo de projeto, que era responsável pelo reator.

- Os operadores e os técnicos que estavam conduzindo o experimento tinham habilidades diferentes e não sobrepostas.

- Os operadores, embora altamente habilitados, provavelmente tinham ouvido que completar o teste antes da parada melhoraria sua reputação. Estavam orgulhosos de sua habilidade para lidar com o reator mesmo em condições incomuns e estavam conscientes da rápida redução da janela de oportunidades dentro da qual deveriam completar o teste. Provavelmente, tinham "perdido qualquer sensibilidade para os perigos envolvidos" na produção do reator.

- Os técnicos que haviam planejado o teste eram engenheiros elétricos de Moscou. Seu objetivo era resolver um problema técnico complexo. Apesar de terem planejado os procedimentos de teste, provavelmente não sabiam muito sobre a produção da usina nuclear em si.

Novamente, nas palavras de James Reason:

"Juntos, fizeram uma mistura perigosa: um grupo de engenheiros de uma modalidade, mas não engenheiros nucleares dirigindo uma equipe de operadores dedicados, porém demasiado confiantes. Cada grupo provavelmente assumiu que o outro sabia o que estava fazendo. E as duas partes tinham pouca ou nenhuma compreensão dos perigos que estavam gerando ou do sistema do qual estavam abusando."

Baseado na informação de READ, P. P. Ablaze: the Chernobyl errors. *Bulletin of the British Psychological Society*, v. 4, p. 201-206, 1987.

Fonte:

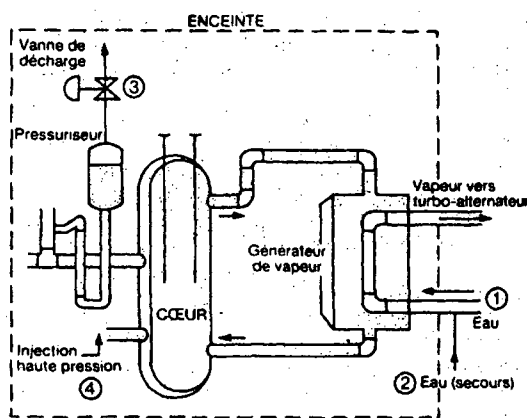
Slack, Chambers, Harland et al.(1996)

ANEXO 2 - O ACIDENTE DE THREE MILES ISLAND

A 28 de Março de 1979, às quatro horas da manhã, dava-se uma avaria habitual na central nuclear de Three Mile Island 2, na Pensilvânia. Dessa vez, o incidente transformou-se em acidente grave.

O núcleo do reator ficou a descoberto durante duas horas e meia. Este fato foi a causa de prejuízos materiais graves e 144.000 pessoas foram evacuadas da região.

Que é que se passou? Examinemos primeiro um resumo do desenrolar do acidente (ver esquema, a seguir).



* Ver, DANIELLOU F., L'Opérateur, la Vanne, l'Ecran (ver bibliografia).

Começa de modo banal, por desarmar da bomba que faz a alimentação de água ao gerador de vapor (1). Automaticamente, o turbo-alternador pára e as bombas de socorro (2) arrancam. O tempo para que a alimentação de socorro seja posta em funcionamento traduz-se por uma breve interrupção do arrefecimento, uma subida de temperatura e da pressão do fluido primário. Ao fim de três segundos, a válvula de descarga (3) abre-se para baixar a pressão. Não tendo a descarga sido suficiente, a $t=8s$ há uma paragem por pressão muito alta e dá-se a queda das barras de segurança do núcleo. A $t=13s$ a pressão baixou e o automatismo *ordena o fechamento* da válvula de descarga. Temos aqui uma sequência de operações banal bastando, teoricamente, esgotar a potência residual e preparar um novo arranque.

Mas naquele dia a válvula de descarga não se fechou.

O que foi mostrado na sala de controle foi a *ordem de fechamento*. A indicação passa, então, a ser de que a válvula se encontra fechada. Na realidade, ela deixa passar 60 t/h de fluido primário que se acumula num reservatório da área. A pressão do primário vai, portanto, baixar até que, a $t=2m$ o sistema de injeção de segurança (4) arranca e introduz no circuito água a alta pressão. Neste momento, o essencial da atividade dos operadores está voltado para o secundário. Com efeito, o corte das bombas (1) provocou o arranque das bombas de socorro (2). Mas acontece que no circuito de socorro (2) *houve válvulas de segurança que tinham ficado fechadas* no seguimento de um ensaio periódico que tinha sido efetuado. Nestas condições, o gerador de vapor extingue-se em três minutos. O fluido primário é levado à ebulição. Os operadores dão conta do fecho das válvulas de segurança a $t=8mn$ e dão a ordem de abertura. A situação ficará estável do lado secundário a $t=25 mn$.

Logo que o sistema de injeção de segurança arranca, os operadores obedecem a uma instrução complementar, «não deixar perder a almofada de vapor no pressurizador». Ignorando que a válvula de descarga (3) se encontra aberta cortam a injeção de segurança a $t=4mn\ 38s$ para não encher por completo o primário com água no estado líquido.

A partir deste momento a água primária perdida através da abertura (3) deixa de ser compensada. O núcleo é descoberto pouco a pouco e a temperatura sobe. Só às $t=2h\ 22m$ é que a abertura será notada e nessa altura será fechada uma válvula de segurança no circuito de descarga. Um diagnóstico preciso só será elaborado ao fim de dez horas. Mas nessa altura já grande quantidade de água primária foi perdida e serão necessárias dezasseis horas para voltar a atingir uma situação estável.

O relatório do inquérito concluiu que os operadores cometeram um erro ao cortarem a injeção de segurança a $t=4min\ 38s$. Com efeito “trata-se de um caso típico de erro retrospectivo, ou seja, que pode ser reconstituído como tal após os fatos”. (Perrow).

Durante as duas primeiras horas do acidente, os operadores não sabiam com efeito que havia uma brecha no circuito primário:

- existe a indicação de que a válvula de descarga se encontra fechada;
- não existe indicador de nível geral do primário;
- o nível do reservatório que recebe o fluido é indicado do outro lado do quadro de comando; não suspeitando de fuga, os operadores não têm motivo para o consultar.
- a temperatura da linha de descarga é mais elevada do que o habitual, mas os operadores sabem que esta indicação não é fiável, porque há já muito tempo, existe uma ligeira fuga;
- o nível indicado no pressurizador passa a ser aceitável a $t=10$ mn. Os operadores convencem-se de que recuperaram o nível, mas nesta altura a indicação já não tem qualquer significado, dado que o pressurizador contém uma mistura difásica vapor-água;
- os alarmes estão inoperantes: a impressora regista 100 por minuto (a impressão já não se faz em tempo real) pouco antes de se avariar;
- a indicação da pressão do núcleo está em baixa, enquanto a do pressurizador está em alta. Os operadores, que se tinham habituado a ver as duas pressões a evoluírem paralelamente, concluem que o manômetro do núcleo se encontra defeituoso.
- a sala de controle enche-se progressivamente de engenheiros. Nenhum deles nota que há uma fuga no primário;
- recordemos que eram quatro horas da manhã, ou seja, uma altura em que o organismo se encontra em estado de desativação.

Vemos, portanto, que as diferentes indicações produzidas pelo sistema de controle não põem em causa o diagnóstico inicial. São interpretadas à luz deste mesmo diagnóstico e atuações que aparentemente poderiam ser eficazes agravam, de fato, a situação e produzem o acidente.

Fonte: Montmollin (1990,p.106-108)

ANEXO 3 - O ACIDENTE DE PIPER ALPHA

No dia 6 de julho de 1988, 167 vidas pereceram na Plataforma de Piper Alpha, situada no gélido Mar de Norte. O pior acidente de óleo em plataformas na história, o desastre de Piper Alpha rapidamente revolucionou a indústria petrolífera em plataformas. Onze anos depois, a indústria petrolífera em plataformas é dramaticamente diferente.

A seguir está uma avaliação do acidente, a investigação pública oficial do governo britânico, e as mudanças administrativas que aconteceram:

- O que deu errado: Uma avaliação dos eventos que conduziram ao desastre de Piper Alpha.
- A resposta britânica: Os resultados da investigação oficial por Lord Cullen, inclusive as recomendações finais de sua investigação.
- A resposta de indústria de plataformas: Uma análise detalhada do sistema atual de gerenciamento baseado em risco, o novo sistema de ordem de serviço, nova tecnologia para plataformas marítimas, e a Piper Bravo.
- Gerenciamento de Segurança: Piper Alpha serve como uma lembrança que gerenciamento de segurança trata de vidas, não de números.

Referências:

Esta página foi desenvolvida como um projeto para o curso de Desastres Tecnológicos e Catástrofes da Universidade Rice por Daniel Conway, Vanessa Salazar, e Sid Byrd.

Eventos do Desastre: Ponto de vista técnico

Piper Alpha era uma plataforma de petróleo no Mar de Norte que incendiou no dia 6 de julho de 1988. Foi o pior acidente de em plataformas marítimas de petróleo, durante o qual 167 pessoas morreram e a plataforma de um bilhão de dólares foi quase totalmente destruída..

A plataforma consistiu em uma torre de perfuração em um lado, uma área de processamento e refino no centro, e alojamentos para sua tripulação no outro lado. Uma vez que Piper Alpha estava mais perto da costa que algumas outras plataformas na área, tinha duas tubulações provenientes destas plataformas conduzindo à sua área de processo. Ela processava o gás proveniente dessas plataformas mais o petróleo extraído por ela e então bombeava os produtos para a costa.

O desastre começou com um procedimento de manutenção rotineiro. Uma certa bomba condensadora de propano na área de processo necessitava ter sua válvula de segurança de pressão verificada a cada 18 meses, e a época tinha chegado. A válvula fora removida, deixando um buraco na bomba onde ela era instalada. Devido aos os trabalhadores não terem conseguido todo o equipamento que eles precisavam até as 6:00 PM, eles pediram e receberam permissão para deixar o resto do trabalho para o dia seguinte.

Mais tarde, à noite, durante o turno de trabalho seguinte, um pouco antes das 10:00 PM, falhou a bomba condensadora primária. As pessoas na sala de controle, que estavam encarregadas de operar a plataforma, decidiram dar partida na bomba reserva, sem saber que ela estava em manutenção. Produtos gasosos escaparam do buraco deixado pela válvula com tal força que os trabalhadores descreveram o ruído como similar a um grito de uma fada. Aproximadamente às 10:00 PM, o gás acendeu e explodiu.

A força da explosão derrubou a parede corta-fogo que separa partes diferentes da

instalação de processamento, e breve grandes quantidades de óleo armazenado estavam queimando sem controle. O sistema de dilúvio automático, que foi projetado para borrifar água em tais incêndios para contê-los ou apagá-los, não chegou a ser ativado porque estava desligado.

Aproximadamente vinte minutos depois da explosão inicial, às 10:20, o fogo tinha se espalhado e tinha ficado quente o suficiente para debilitar e então estourar os dutos de gás das outras plataformas. Estes eram tubos de aço de um diâmetro de vinte e quatro a trinta e seis polegadas, contendo produtos de gás inflamáveis a duas mil libras por polegada quadrada de pressão. Quando estes dutos estouraram, o jato resultante de combustível aumentou o tamanho do fogo dramaticamente de uma bola de fogo para uma torre infernal. No auge do fogo, as chamas alcançaram trezentos a quatrocentos pés no ar e poderiam ser sentidas a uma milha de distância e vistas a oitenta e cinco.

A tripulação começou a agrupar-se na área de alojamentos, a parte da plataforma que era o mais distante da chama e parecia ser a menos perigosa, esperando helicópteros para os levar à segurança. Infelizmente, os alojamentos não eram à prova de fumaça e chamas, e a falta de treinamento fez as pessoas abrirem e fecharem repetidamente as portas o que só piorou o problema.

As condições ficaram tão ruins na área de alojamentos que algumas pessoas perceberam que o único modo de sobreviver seria escapar da estação imediatamente. Eles acharam que todas as rotas para os barcos salva-vidas foram bloqueadas por fumaça e chamas, e na falta de qualquer outra instrução, saltaram ao mar à espera de serem salvos por barco. Foram salvos sessenta e dois homens desta forma; a maioria dos outros 167 morreram sufocados em monóxido de carbono e fumaça na área de alojamentos.

Os dutos de gás que estavam abastecendo o fogo foram finalmente fechados cerca de uma hora depois que eles tinham estourado, mas o fogo continuou com o óleo da plataforma e o gás que já estavam nos tubos queimados. Três horas depois a maior

parte da plataforma, inclusive os alojamentos, tinha derretido e afundado na água. Os navios na área continuaram apanhando os sobreviventes até a manhã, mas a plataforma estava destruída e a maioria de sua tripulação morta.

Eventos: Ponto de vista humano

Para um trabalhador na plataforma de Piper Alpha na noite de 6 de julho de 1988, os eventos que ocorreram foram absolutamente terríveis e exigiram grande força pessoal e coragem para sobreviver. O pânico e confusão que aconteceram foram ampliadas pelo fato que muitos dos trabalhadores naquele eram contratados e portanto novos na plataforma e que uma exercício de evacuação completa não tinha sido realizado em mais de três anos.

Na realidade, o treinamento de segurança era deficiente em todos os aspectos. Trabalhadores na sala de controle foram alertados por uma série de alarmes de gás, e os demais primeiro ouviram a explosão ou viram fumaça. As pessoas começaram a correr na instalação em confusão que virou pânico à medida em que o fogo e as explosões se espalharam. Não houve nenhuma ordem clara anunciada no sistema de auto-falantes em nenhum momento. Quando eles perceberam que havia um perigo real na estação, alguns trabalhadores tentaram chegar aos barcos salvavidas, mas naquela hora todos os caminhos para eles tinham sido cortados. Da mesma forma, um grupo tentou alcançar os controles que lhes permitiriam disparar o sistema de supressão de fogo, cuja função de partida automática tinha sido desligada, mas eles falharam e nenhum deles jamais foi visto novamente.

Em breve, a maioria das pessoas começou a ir à área de acomodação. Lá eles estavam protegidos do calor e chamas durante algum tempo, mas não da fumaça sufocante. Homens começaram a deitar no chão com trapos molhados em cima de suas bocas e faces. Alguns deles perceberam que eles poderiam morrer.

Em um certo ponto, um gerente importante conseguiu uma mesa e começou a falar, mas ninguém poderia ouvir ou poderia lhe prestar qualquer atenção. Era então tarde

demais para orientações.

Algumas pessoas perceberam que o único modo para sair em segurança era pular para dentro do mar. Homens correram à grade, só ver uma mancha assustadora de mais de cem e cinquenta pés na superfície da água, iluminada pelas partes de óleo flamejante flutuando ao redor da plataforma. Os que saltaram tiveram que alternar entre ficar abaixo da água congelando no gélido Mar de Norte e manter as suas cabeças no ar para queimar. Os que ficaram para trás morreram de envenenamento por monóxido de carbono.

Histórias de sobreviventes ilustram como era horrível a situação. Um homem tinha vindo à plataforma aquele dia e não teve nenhuma idéia de onde ele estava ou como se localizar. Tudo que ele poderia ver era que ele estava em um corredor alto em cima de uma nuvem de fumaça. Ele tomou a decisão que seria melhor morrer de saltar e bater na plataforma do que queimar vivo. Ele saltou, caiu no mar, e foi salvo.

Outro homem foi ouvido com um pedido repetido chamando qualquer um que trabalhava na mesma companhia que ele. Quando perguntado por que ele faria tal uma coisa em tal situação, ele respondeu, 'eu não queria morrer só'.

No fim, 62 homens foram apanhados da água, muitos com queimaduras severas e ferimentos. Outros 167 morreram. Os sobreviventes terão que viver com as suas recordações de medo e perda para o resto de suas vidas.

Causas e Falhas

Havia várias falhas de segurança que permitiram que o desastre acontecesse, cada uma das quais deixou as perdas aumentarem mais que o necessário e provocaram mudanças drásticas nos regulamentos de segurança nos anos seguintes. Foram os seguintes:

Sistema de ordens de serviço - Este era um sistema em papel projetado para

promover comunicação entre todas as partes afetadas por qualquer procedimento de manutenção feito na plataforma. Trabalhadores tinham que preencher um formulário que era submetido então a um gerente que a aprovava, conferia, e acompanhava até que o trabalho fosse concluído. O sistema em Piper Alpha tinha se tornado muito relaxado. Os empregados confiaram muito em comunicações informais, como deixar o formulário na escrivaninha de um gerente em vez de dar pessoalmente a ele, e a comunicação de mudanças de turno estava faltando. Se o sistema tivesse sido implementado corretamente, o vazamento de gás inicial nunca teria acontecido.

Paredes corta-fogo - As paredes corta-fogo em Piper poderiam ter parado a expansão de um fogo comum. Elas não foram construídas para resistir a explosão. A explosão inicial as derrubou, e o fogo subsequente se espalhou desimpedido, quando poderia ter sido contido se as paredes corta-fogo tivessem também resistido à explosão. Estações mais novas têm paredes de explosão que evitariam uma repetição das fases iniciais do desastre de Piper.

Sistema dilúvio - Este era um sistema projetado para ativar-se automaticamente no caso de um incêndio e borrifar água para apagá-lo. Infelizmente, o gerente de plataforma tinha ordenado que a partida fosse desligada. Desde que não havia nenhum controle para aquela finalidade, provavelmente foi desligado no disjuntor. A razão para tal decisão era proteger os mergulhadores no mar perto da tomada de água do sistema. Considerando que os mergulhadores estavam metade do tempo na água durante os meses de verão, isto significava que o sistema dilúvio ficava metade do tempo desligado também, inclusive quando o desastre aconteceu. Desabilitar o sistema era uma prática bastante comum entre plataformas semelhantemente projetadas, mas elas tiveram melhor sorte que Piper Alpha.

Treinamento de segurança - Este era um dos maiores problemas. Não foram adequadamente treinados os trabalhadores na plataforma em procedimentos de emergência, e a administração não foi treinada para suprir a lacuna e proporcionar efetiva liderança durante uma situação de crise. Exercícios de evacuação não eram

realizados tão freqüentemente quanto constavam no programa oficial de uma vez por semana, e um exercício completo não tinha acontecido em mais de três anos. Também, havia treinamento inadequado em comunicação entre plataformas. Quando as outras plataformas perceberam que havia um problema em Piper, eles simplesmente supuseram que Piper tomaria conta do assunto. Eles não fecharam o fluxo de gás que eles estavam bombeando para Piper durante uma hora, triplicando efetivamente a provisão de combustível disponível. Os problemas com treinamento de segurança não eram uma falta de diretrizes de treinamento decentes; as diretrizes existentes foram simplesmente ignoradas.

Auditoria – A *Occidental Petroleum* tinha auditorias de segurança regulares em suas instalações. Estas auditorias foram executadas, mas não foram bem executadas. Poucos ou mesmo nenhum problema eram levantados, embora houvesse assuntos sérios como corrosão de tubos e cabeças de sistema dilúvio e muitos outros assuntos. Quando um problema sério era encontrado, às vezes era simplesmente ignorado. Por exemplo, cerca de um ano antes, quando os dutos de gás queimaram e desligaram a estação, uma auditoria independente cujo propósito era identificar os principais perigos de incêndio corretamente identificou o perigo e declarou que se eles explodissem, nada poderia salvar a estação. A auditoria recomendou instalar sistemas de segurança específicos para os proteger. Na reunião de diretoria que revisou o relatório, nunca foram mencionados os dutos de gás.

Avaliação de riscos – Os dutos eram claramente o risco primário na plataforma, mas nada foi feito para protegê-los. Foi recomendado que um sistema dilúvio específico fosse instalado especificamente para eles, junto com uma válvula automática que os deixaria fora ao nível de mar no caso de uma perda de pressão alarmante, e outras providências, mas nenhuma destas medidas foi implementada. A maioria das plataformas modernas tem tal característica onde ela é apropriada.

Resultados

Um total de 162 pessoas morreram. Uma plataforma de um bilhão de dólares estava

perdida, junto com até dez por cento da capacidade de produção de petróleo de Inglaterra. O pagamento de seguro da Lloyd de Londres que cobriu o valor da plataforma, a produção perdida, e os 700 mil dólares pagos a cada vítima, entre outras coisas, somou um recorde de 2.8 bilhões de dólares, quase duas vezes maior que o segundo pagamento mais alto para um único evento além de um desastre natural como um furacão forte. A indústria petrolífera foi severamente abalada, e uma investigação pública recomendou muitos novos procedimentos de segurança. Foram criadas agências de governo para implementar estas mudanças na Grã-Bretanha.

Fonte:

Conway, Salazar e Byrd (Internet, 2000)

ANEXO 4 - O ACIDENTE DO CHALLENGER

Introdução

O céu estava claro e o sol brilhava na manhã fria de 28 de janeiro de 1986. O Centro Espacial Kennedy na Flórida estava ocupado preparando o lançamento do 25.º ônibus espacial, a missão 51-L, o 10.º voo orbital do Challenger. Este foi um dos mais divulgados lançamentos porque era a primeira vez que uma civil, uma professora escolar, estava indo ao espaço. O lançamento do Challenger tinha sido adiada cinco vezes devido ao mau tempo e 28 de janeiro era o dia mais frio em que a NASA em que já ocorrera um lançamento de ônibus espacial. A hora tinha chegado, às 11:38 AM, hora oriental padrão e o Challenger deixou o Bloco 39B no Centro Kennedy. Setenta três segundos em voo e o Challenger explodiu, matando todos os sete membros de sua tripulação.

O Challenger explodiu 73 segundos depois de lançamento, mas o que de fato aconteceu? O que causou a mecanicamente explosão?

A temperatura ao nível de chão no Bloco 39B era 36 graus F, o que era 15 graus mais frio de que qualquer outro lançamento anterior feito pela NASA. Os propulsores de foguetes sólidos (SRB-*Solid Rocket Boosters*) foram acesos, e o barulho trovejante começou. A 0.68 segundos depois da ignição, o videoteipe mostrou fumaça preta vindo da junta de campo direita do SRB na popa (fundo). A junta de campo na popa é a mais baixa porção do SRB. A fumaça preta sugeriu que graxa, junta de isolamento e anéis "O" de borracha estivessem sendo queimados. A fumaça continuou vindo da junta de campo da popa em frente ao tanque externo, em ciclos de 3 golfadas de fumaça por segundo. A última golfada de fumaça foi vista a 2.7 segundos. A fumaça preta era uma indicação que a junta de campo da popa não estava selando adequadamente.

Em voo, foram vistos lampejos no Challenger. Três lampejos luminosos brilharam

pelas asas do Challenger, 45 segundos depois de sair do elevador. Cada um dos três lampejos durou só 1/13 de um segundo. Estes lampejos tinham sido vistos em outras missões de ônibus espaciais e não tinham sido considerados problemas. Estes lampejos luminosos não tinham conexão com a chama que foi vista depois em vôo. A 58.8 segundos em vôo, em filme aumentado, uma chama foi vista próximo do SRB direito. A chama estava vindo do centro à popa e junta da popa, a 305 graus ao redor da circunferência do SRB. A chama era gás ardente que estava escapando do SRB. Uma fração de um segundo depois, a 59.3 segundos, a chama estava bem definida, e podia ser vista sem filme ampliado. Como a chama aumentou em tamanho, tinha começado a pressionar contra o tanque externo pelo ar circulando ao redor do Challenger. O SRB é preso ao tanque externo por uma série de braços ao seu lado. Um destes braços fica situado a 310 graus da circunferência do SRB. Como cresceu a chama que empurrou contra este braço, com um intenso calor de 5600 graus F, tornando-o quente e fraco.

A primeira visão de que a chama estava batendo o tanque externo foi a 64.7 segundos, quando a cor da chama mudou. A mudança de cor indicou que aquela a chama estava sendo produzida por mistura com outra substância. Esta outra substância era hidrogênio líquido que é armazenado no tanque externo. O tanque externo armazena hidrogênio e oxigênio em dois tanques. O tanque de topo que contém oxigênio e o de fundo hidrogênio. Mudanças de pressões do tanque de hidrogênio confirmaram que havia um vazamento. Quarenta e cinco milissegundos depois da mudança de cor, uma pequena luz ardente desenvolveu-se entre o tanque externo e os placas pretas do Challenger.

A 72 segundos após o lançamento, houve uma súbita cadeia de eventos que destruíram o Challenger e os sete membros da tripulação a bordo. Todos estes eventos aconteceram em menos de dois segundos. Até agora o mais baixo braço, conectando o SRB direito ao tanque externo estava extremamente quente e muito fraco. Com a quantia de força dada pelo SRB, o mais baixo braço quebrou longe do SRB direito e o tanque externo. Permitindo o SRB direito girar livremente ao redor dos braços de topo. O SRB ficou descontrolado, o fundo do SRB balançou ao redor

batendo, queimando e quebrando a asa do Challenger. A 73.12 segundos em vôo um vapor branco foi visto do canto de fundo do SRB direito. O tanque externo ficou fraco devido ao intenso calor gerado pela chama. A estrutura de cúpula debaixo do tanque externo falhou e caiu.

O tanque de hidrogênio dentro do tanque externo rompeu e libertou o conteúdo de hidrogênio líquido. Com a ausência súbita de hidrogênio, havia uma força extrema que atirou o tanque de hidrogênio adiante no tanque de oxigênio que também estourou. Como colidiram os dois intertanques, o topo do SRB direito bateu contra o topo do tanque externo no lado de fora, e também quebrou o tanque de oxigênio. O vapor branco visto era a mistura de hidrogênio e oxigênio. A 73.14 segundos, falharam todas as estruturas. Só milissegundos depois que o vapor branco foi visto do SRB direito, o brilho virou um globo de fogo e uma explosão enorme. A explosão principal era o hidrogênio e oxigênio que vieram do tanque externo. O Challenger estava viajando a uma velocidade de Mach 1.92, a uma altura de 46 000 pés, quando explodiu. A última transmissão registrada de Challenger foi a 73.62 segundos após o lançamento, quando verdadeiramente caiu.

Pouco antes de o Challenger explodir, foi engolfado em uma nuvem de fumaça que tornou-se maior depois da explosão. Abaixo da fumaça cinza da explosão, estava se espalhando uma fumaça vermelha. Esta fumaça vermelha era o sistema de controle de reação queimando dos destroços do Challenger. Escombros do Challenger foram vistos caindo em direção ao oceano. Ambos os SRBs voaram em direções opostas fora da bola de fogo e fumaça. Os explosivos no SRB foram detonados pelo comando de segurança da Força Aérea dos Estados Unidos, 110.25 segundos depois de lançamento. (36.6 segundos depois da explosão.)

O SRB tem pára-quedas no cone de topo, assim ele podem chegar lentamente ao chão em um lançamento normal. Os pára-quedas do SRB tinham se soltado e foram flutuando até a terra. O público que assistia o lançamento pensou que a tripulação tinha escapado do ônibus espacial usando seu sistema de fuga. O que o público não sabia é que não havia nenhum sistema de fuga em quaisquer dos ônibus espaciais.

O que deu errado? O que Falhou?

A junta de campo direita da popa era a principal suspeita de causar o acidente, devido à fumaça depois de ignição e chamas durante o voo, que vieram da região da junta de campo da popa.

O propulsor de foguete sólido é composto de quatro segmentos principais. Eles são unidos por uma junta trava e fechadura. Cada segmento tem uma trava no fundo e uma fechadura no topo. A fechadura tem uma forma de um "U", enquanto a trava tem uma forma de uma linha reta. A trava ajustaria deslizando abaixo dos lados do "U" da fechadura. O segmento mediano da popa conecta ao segmento da popa com a extremidade. A junta que mantém unidos estes dois segmentos é chamada a junta de campo da popa. Esta é a junta que falhou no SRB à direita. A junta é lacrada através de dois anéis "O" de borracha, com um diâmetro de 0.280 polegadas (+ 0.005, -0.003). O selo é usado para manter os gases dentro do SRB, evitando que escapem. O selo tinha falhado, porque a chama vista durante o voo era de gás queimando.

Houve algumas causas que poderiam provocar a falha da junta de selo. Estas causas eram:

- Dano de montagem/contaminação: A junta de selo poderia ter sido estragada ou poderia ter contaminado durante montagem do SRB.
- Abertura de gap: A abertura entre as juntas abre à medida em que a pressão é aplicada.
- Compressão do Anel "O": Isto depende da largura da abertura.
- Temperatura da junta: A temperatura tem efeitos na capacidade selagem marcando do anel "O".
- Desempenho de Putty: Putty (cromato de Zinco) é aplicado antes da montagem dentro da junta para parar os gases indo aos anéis "O".

A montagem do SRB poderia ter danificado a junta de selo. Os segmentos do SRB

foram transportados horizontalmente à instalação de montagem. Cada segmento era pesado, e então seu peso mudava a forma do segmento de maneira que ele não era perfeitamente redondo. A forma irregular dos segmentos pode ter distorcida e pode ter sido acentuada em missões anteriores, ou sob os efeitos do manuseio. Na montagem o segmento da popa é baixado verticalmente, com a trava que desliza na fechadura da junta anterior. Por causa das distorções, podem ter mudado as dimensões dos segmentos. A missão 51-L era um das missões onde as dimensões tinham mudado. Até mesmo durante o processo de montagem do SRB as dimensões de segmentos continuam mudando, com o peso que é aplicado a cada segmento. Como dito, a forma e dimensões mudam, assim na instalação de montagem, para fazer os segmentos se ajustarem mais facilmente e a forma da trava é mudada com uma ferramenta especial.

Uma verificação importante durante a montagem é se os diâmetros de ambos os segmentos são iguais. Se a diferença de diâmetros for muito grande, então os lados da trava e fechadura são planos contra um ao outro. Quando a diferença em diâmetros for pequena, então a trava é inclinada contra a fechadura mas a inclinação ainda permite que a montagem do SRB continue. Outra coisa a procurar durante a montagem é se os centros dos segmentos se alinham. Uma diferença de +0.25 polegadas é permitida para segmentos desalinhados. Se a diferença é mais que +0.25, há uma chance de contaminação na junta de SRB. Quando a trava e fechadura ajustaram e os centros estão fora da tolerância, então há contato metal a metal. Lascas de metal podem escamar fora e podem pousar no anel "O". Os segmentos de metal também podem raspar contra os anéis "O" e podem danificá-los. Houve testes que mostraram que contaminantes com um tamanho de 0.001 a 0.003 polegadas na junta passaram em um teste de vazamento de fato. Assim, sempre há uma possibilidade que contaminação tenha acontecido de fato no SRB da missão 51-L.

No lado de dentro da trava e fechadura há uma abertura que precisa ser selada. São os anéis "O" que selam esta abertura. O tamanho da abertura muda à medida em que a pressão de gases dentro do SRB muda. A abertura se torna maior quando a

pressão aumenta. Mudança do tamanho da abertura é chamada de Abertura de Delta. Há dois anéis "O", os anéis "O" primários e secundários. A abertura a cada anel "O" na junta de campo da popa é diferente, a abertura do anel "O" primário é aproximadamente 0.029 polegadas, e do secundário é aproximadamente 0.017 polegadas. Durante lançamento o anel "O" deveria mover para selar a Abertura de Delta, e voltar a seu estado original.

A pressão de gás também formada por combustão dentro do SRB ajuda a selar o anel "O". Este processo de selagem é chamado Atuação de Pressão de Selo de anel "O". À medida em que o gás vai para o anel "O", o gás encontra um lado do anel "O" e o empurra de todos os lados possíveis da abertura, ajudando a selar a junta. A pressão é necessária nas fases iniciais de ignição do SRB. Para funcionar perfeitamente, a pressão de gás deveria estar atrás do anel "O" enquanto este estiver em seu encaixe. A pressão pode passar um lado completo. Quando a abertura for muito grande para o anel "O", então o gás irá além, soprando através do anel "O" e isto não selaria a junta. Gás pode soprar pelo anel "O" quando o encaixe em que o anel "O" se apoia for muito estreito. Neste caso que o anel "O" é espremido no encaixe apoiando-se contra os lados do encaixe. O gás não poderia ajudar a selar a junta. Quando sopra por ocorrência de vazamento de gás, e os anéis "O" são danificados ou até mesmo são destruídos.

A temperatura também estava envolvida na falha da junta de selo. Na manhã fria do lançamento, as juntas mais frias eram as juntas de campo da popa do SRB direito. A temperatura aproximada da junta de campo da popa do SRB direito era 28 graus F (mais ou menos 5 graus F). A temperatura do lado oposto, SRB esquerdo, era aproximadamente 50 graus F. Há dois efeitos de anéis "O" a uma baixa temperatura.

Um efeito de baixa temperatura em anéis "O" é que eles não selam corretamente. Quando os anéis "O" estiverem frios, eles são muito duros e eles não movem tão depressa quanto devem. Foram feitos testes para ver a rapidez de selagem de anéis "O" a diferentes temperaturas. A 75 graus F os anéis "O" selam em torno de 530 milissegundos. No lado oposto da balança um anel "O" a 20 graus F leva 1.9

segundos para selar. É esta diferença de tempo que poderia ter acabado com a Missão 51-L. De dez missões anteriores do ônibus espacial, oito tiveram dano de anel "O" no SRB. As duas missões que não tiveram nenhum dano aos anéis "O", era de lançamentos em dias mais quentes. As juntas do SRBs tiveram uma temperatura de 81 graus F e 79 graus F. Esta descoberta poderia ser mostrado que temperatura é um fator crítico aos efeitos de dano de anel "O".

O segundo efeito de temperatura baixa é formação de gelo. Gelo pode se formar nas juntas, e danificar os anéis "O" que conduzirão a falha da junta de selo. Gelo nos encaixes para os anéis "O" os desmontaria e não os deixaria selarem a junta. Ao redor da plataforma 39B havia bastante evidência de formação de gelo. A torre inteira estava coberta com partículas de gelo. O Challenger, o SRBs e tanque externo tinham estado no Bloco um total de 38 dias. Neste período houve 7 polegadas de chuva. Havia uma chance grande que água tenha entrado nas juntas do SRBs e tenha danificado alguns dos anéis "O".

Desempenho de Putty é outra possível causa da falha da junta de selo. Putty (cromato de Zinco) é colocado no lado de dentro das juntas antes da montagem. Sua função é evitar que o calor do gás de combustão atinja os anéis "O". Putty também está forçado entre a abertura da trava e fechadura, para assegurar que o selo está justo. O cromato de Zinco pode afetar a junta de muitas formas; putty pode afetar a pressão que é enviada ao anel "O" para sua atuação. Os gases quentes podem causar buracos no putty, deixando então gás ir para os anéis "O" que poderiam ser danificados. O gás indo para o anel "O" poderia diminuir o tempo que este leva para atuação. Segundo, o putty move através de pressão de gás e poderia ir todo para os anéis "O". O putty poderia ser soprados nos encaixes dos anéis "O" e poderia ter impedidos os anéis "O" de selar a junta corretamente.

Para a maioria das causas do falha da junta de selo, foi assumido que os segmentos ficam perfeitamente redondos durante lançamento. Quando um ônibus espacial é lançado, os SRBs são submetidos de fato a muito força. Para o lançamento final do Challenger, os SRBs foram fixados ao bloco durante 6.6 segundos depois de

ignição. As grandes forças dobram e puxam os SRBs adiante. Os segmentos circulares são mudados a uma forma elíptica. O lado do que é muito plano e o elíptico estão na distância mais curta entre 045 grau a 315 graus do SRB direito. Dobras e estiramentos acontecem em ciclos de três por segundo. No lançamento quando os SRBs foram acesos, havia golfadas de fumaça vindo do mesmo local, também a três golfadas por segundo. Há outras mudanças com as forças aplicadas aos SRBs. A trava e juntas de fechadura mudam de forma e então a abertura fica maior, assim os anéis "O" têm uma abertura maior para selar. Se o anel "O" não segue a abertura então as falhas de selagem ocorrem.

Da informação anterior, a causa para a explosão foi a falha da junta de selagem da popa do SRB direito, provavelmente devido à temperatura extremamente baixa na manhã do dia 28 de janeiro de 1986. Dos dois SRBs que eram usados, o que estava no frio extremo foi o que falhou. Anéis "O" quando resfriados não se movem tão depressa quanto quando estão quentes. Então, se os anéis "O" estivessem quase congelados durante ignição, os gases teriam queimado os anéis e produzido a fumaça preta. O Challenger deixou a plataforma de lançamento e foi a espaço. Durante vôo os anéis "O" continuaram não selando a junta, e os gases escoaram pela junta de campo da popa. A chama cresceu e posteriormente explodiu o Challenger.

Conclusão

Era dia 28 de janeiro de 1986 quando sete astronautas dos EUA morreram quando o seu ônibus espacial explodiu 73 segundos depois do lançamento. Era o dia mais frio da história de lançamentos dos ônibus espaciais. A causa do acidente foi o tempo frio e a falha da junta de selo da popa no SRB direito. Este acidente trágico será sempre lembrado no programa espacial.

Página escrita por Davider S. Mahal

Fonte:

Mahal (Internet, 2000)

ANEXO 5 - NORMA INTERNA ATUAL PARA CONTROLE DE ERROS

Departamento de Manutenção Circular Normativa	Número 02/99	Emissão 18.02.99
---	-------------------------------	-----------------------------------

Assunto: Relatório de Anomalia em Serviço (RAS)

Referência: CN/SMM.DT/001/94 de 28.09.94

1 Objetivo

O objetivo desta Circular Normativa (CN) é definir os procedimentos para elaboração e controle de Relatório de Anomalia em Serviço (RAS).

O objetivo do Relatório de Anomalia em Serviço (RAS) é evitar repetição de ocorrências similares e atuar preventivamente para evitar anomalias.

Para isso, o Departamento necessita:

- a) Realizar análise e estabelecer procedimentos técnicos e/ou administrativos.
- b) Manter controle das ações recomendadas nos relatórios.
- c) Elaborar estatísticas do índice de perturbações por falha humana.
- d) Desenvolver programas de treinamento, baseado nas informações dos itens precedentes.

2 Definições e Aplicações

Anomalia em Serviço é qualquer ocorrência não esperada, provocando desligamentos intempestivos de equipamentos e/ou perturbações no sistema, danos ou quase-danos aos equipamentos, acidentes de trabalho ou quase-acidentes. Suas causas podem ser conhecidas ou não no momento em que ocorre a anomalia.

Para toda e qualquer situação caracterizada como Anomalia em Serviço, a Divisão responsável deverá emitir o RAS onde serão descritos:

- a anomalia
- o resultado da apuração
- a(s) ações propostas para evitar repetição
- o(s) nome(s), matrícula(s), cargo(s) e órgão(s) do(s) relator(es)

3 Procedimentos para emissão de RAS

- 3.1 Ao tomar conhecimento de qualquer incidente caracterizável como “Anomalia em Serviço”, a Divisão envolvida deverá solicitar ao GPCM o cadastro de um RAS.
- 3.2 Caso haja mais de uma divisão envolvida em uma mesma anomalia, o Departamento determinará a Divisão que deve emitir o RAS. Neste caso o RAS deve ser elaborado em conjunto.
- 3.3 Se a Divisão não solicitar o cadastro do RAS , até dois dias úteis após a ocorrência da anomalia, o GPCM providenciará o cadastro e informará o número à Divisão.
- 3.4 Prazo para emissão e entrega do RAS ao GPCM será de 10 dias úteis a contar da data da ocorrência.
- 3.5 Departamento terá cinco dias úteis para analisar o relatório.
- 3.6 Caso o Departamento não aprove o relatório, o documento será devolvido à Divisão emitente para correções. As correções devem ser feitas até cinco dias úteis após a devolução.
- 3.7 Toda a tramitação do relatório será feita via GPCM, ao qual caberá manter controle desde a emissão até a execução das ações propostas.
- 3.8 Todas as segundas-feiras, as divisões devem informar ao GPCM, preferencialmente via correio eletrônico, o andamento das ações propostas.
- 3.9 Durante a Reunião de Coordenação do Departamento, o GPCM apresentará a situação das ações propostas e os comentários do Departamento.

O fluxograma do anexo A ilustra o processo aqui descrito.

- 3.10 Deverão ser observados os seguintes fatores na pesquisa da(s) anomalia(s):
 - a) Conhecimento das Planilhas de Inspeção e Controle (PICs), Instruções de Manutenção (IMs) e Manuais Gerais do SOM (Sistema de Operação e Manutenção).
 - b) Treinamento adequado dos executantes do serviço.
 - c) Experiência profissional anterior dos executantes do serviço.
 - d) Iniciativa do empregado na execução do serviço.
 - e) Adequação das ferramentas e instalações.
 - f) Condições normais de trabalho.

- g) Nível de risco do serviço em execução para a confiabilidade do Sistema Elétrico Interligado.
- h) Presença do responsável pela AT (Autorização de Trabalho) no local da ocorrência.
- i) Número de vezes que este trabalho tenha sido executado.
- j) Eventual influência de fatores externos ao ambiente de trabalho.
- k) Adequação dos manuais ao trabalho.

4 Preenchimento do formulário

4.1 Anomalia

Devem ser preenchidos os campos correspondentes a:

- Data
- Hora
- Local
- Equipamento
- Código do SOM (Sistema de Operação e Manutenção).

A descrição da anomalia deve ser clara e objetiva, citando, quando houver, o Relatório de Perturbação (RP), a Solicitação de Serviço Aperiódico (SSA) ou Solicitação de Serviço Periódico (SSP) e a Autorização de Trabalho (AT).

4.2 Resultado da pesquisa

Deve ser preenchido com todas as informações que a Divisão tenha conseguido levantar, para permitir uma completa análise da ocorrência, suas causas e conseqüências reais ou potenciais.

É recomendável que seja incluído um Diagrama de Causa e Efeito. Em alguns casos, a critério do Departamento, este item será obrigatório.

4.3 Relatores

Nome (s) do(s) empregado(s) que tenham participação no processo de pesquisa da anomalia, com matrícula, cargo e órgão.

4.4 Ações para evitar repetição

Devem ser propostas ações concretas e controláveis, com prazos e responsáveis para implantação.

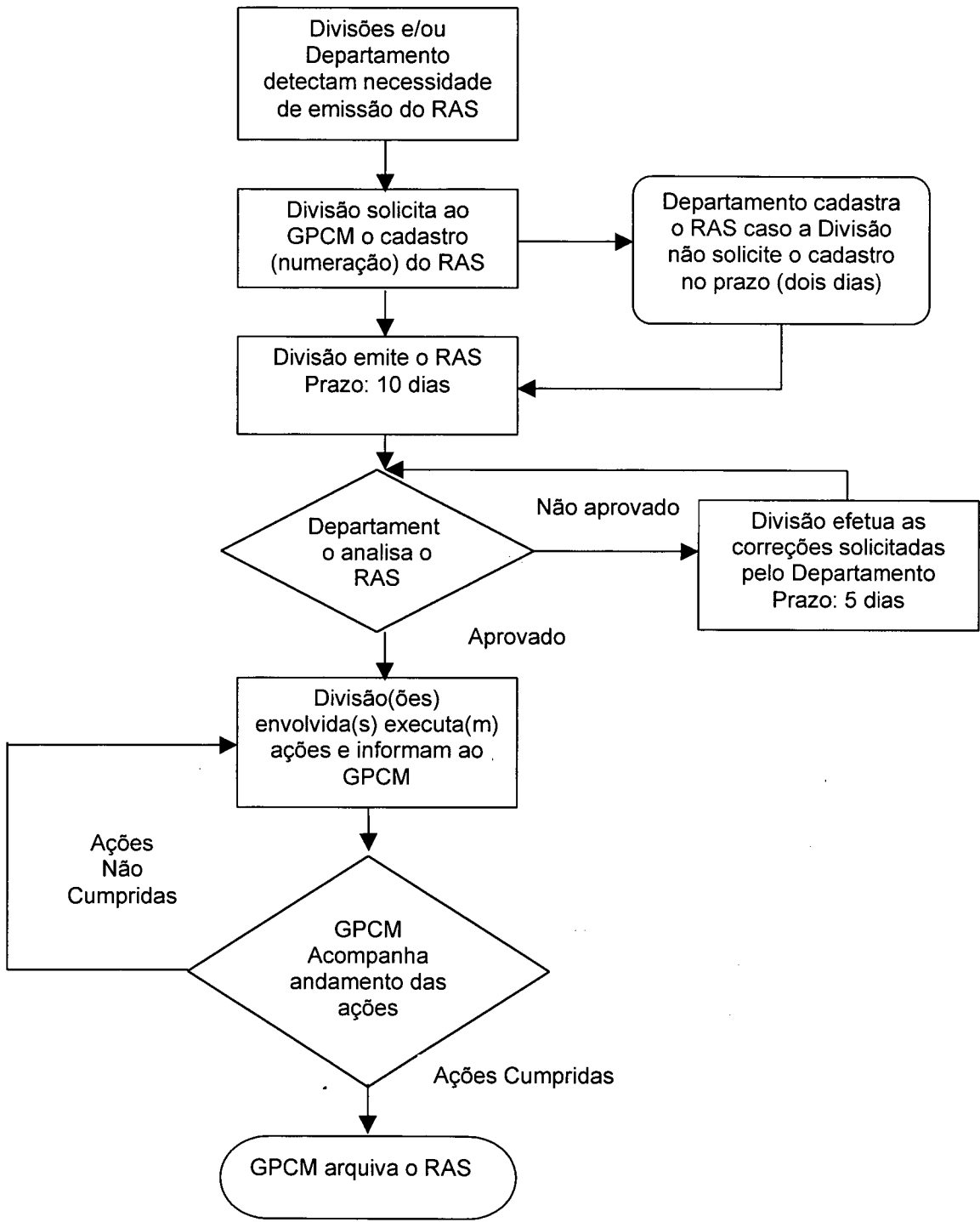
No Plano de Ação deve constar a programação da divulgação do Relatório.

Exemplo: Em vez de colocar “conscientizar pessoal da necessidade do procedimento x”, colocar “Realizar palestra dia/mm/aa, local X, assunto A, instrutor B, participantes C e D”.


Artemio Ignacio Flecha Gill
Gerente do Departamento de Manutenção

Fonte: Itaipu Binacional

CN 02/99 Fluxograma do RAS – Anexo A



CN 02/99 – Anexo B

 ITAIPU BINACIONAL	SMM.DT RAS Relatório de Anomalia em Serviço Relatorio de Anormalidad em Servicio	Nº. ____/____ Folha/Hoja 1/2
---	--	------------------------------------

1 **Anomalia / Anormalidad**

Divisão/División:

Data/fecha: Horário: Local:

Equipamento/Equipo:

Código do SOM:

Descrição / Descripción:

.....

.....

.....

RP Nº. SSA- / AT- Anexos:

2 **Relatores:**

Nome/Nombre: Matrícula/Carnet: Cargo:

Órgão/Órgano:

.....
.....
.....
.....
.....
.....

3 **Resultado da Averiguação/Resultado de la Averiguación:**

3.1.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ANEXO 6 - RAS DE UM ACIDENTE TÍPICO (RAS 07/99)

1. Anomalia/Anormalidad:

Divisão/División: SMMG.DT

Data/fecha: 09/2/99 Horário: 15h30min - Local: Elevação 115,00 Casa de Força

Equipamento/Equipo: QJ-04.

Código do SOM: J78A

Descrição/Descripción:

Durante manutenção preventiva quadrienal no quadro QJ-04, ao inserir o disjuntor 52-D(interligação de barras), após término da manutenção no referido disjuntor, ocorreu curto-circuito, causando queimaduras nos braços, rosto, tórax e pernas do técnico **A** e também queimaduras no braço e mão direita do técnico **B**.

RP NI.: SSP-1 9991051 OA AT-1999101231 Anexos: Relatório fotográfico.

2. Relatares:

Nome/Nombre:	Matrícula/Carnet:	Cargo:	Órgão/Organo:
A		Téc. Man. Eletrônica IV	SMMG.DT
B		Téc. Man. Elétrica	SMMG.DT
C		Téc. Especializado	SMMG.DT
D		Engenheiro SR 1	SMMG.DT

3. Resultado da Averiguação/Resultado de la Averiguación:

3.1. Durante manutenção preventiva quadrienal no quadro QJ-04, ao inserir o disjuntor 52-D(interligação de barras), após término da manutenção no referido disjuntor, ocorreu curto-circuito devido a não retirada da cordoalha (colocada para interligar os três terminais tipotulipa) utilizada na execução dos ensaios de resistência de isolamento no disjuntor.

3.2. Durante ensaio para medir a resistência de isolamento do disjuntor, promoveu-se interligação dos três terminais do disjuntor, que no caso em questão foi realizada utilizando uma cordoalha (blindagem de cabo). Esta cordoalha devido suas dimensões e coloração(mesma cor dos terminais do disjuntor) dificultou a visualização favorecendo esquecimento desta no disjuntor após término dos ensaios.

3.3. Constatado quebra na seqüência lógica dos trabalhos de manutenção preventiva no disjuntor, pois a última atividade deveria ser a verificação da resistência de isolamento a fim de comprovar que nenhuma anormalidade havia sido deixada no disjuntor. Na manutenção deste disjuntor o ensaio de isolamento foi antecipado e realizado com o disjuntor parcialmente desmontado (sem as câmaras de extinção e a tampa frontal). Este fato provavelmente contribuiu por não ter ocorrido a retirada da cordoalha, imediatamente após ensaio, pois no disjuntor haveria outras atividades, como a remontagem

3.4. A supervisão durante os trabalhos concentrou exclusivamente na análise dos resultados obtidos pelos ensaios realizados, sendo a comunicação entre os membros da equipe focada neste sentido. Fato que prejudicou os controles finais necessários, como inspeção final no disjuntor.

3.5. Na tarde do dia 9/2/99 foi contatada a Operação (Assessoria de Turno 50 Hz), para possibilitar o prosseguimento dos trabalhos de manutenção preventiva no quadro, e comunicado necessidade de colocar o quadro em manual e promover a retirada do disjuntor DJ-52D do nicho. Como o quadro já encontrava energizado a Operação delegou as manobras aos técnicos de manutenção. Após o término da manutenção do DJ-52D, os técnicos não voltaram a contatar o Setor de Operação entendendo que quando da delegação das manobras estava incluída a normalização do equipamento (inserção do DJ e colocação do quadro em automático) e a promoveram ocorrendo o curto-circuito. As manobras sendo feitas pela Operação coloca-se no processo mais um nível de supervisão, que contribui para detectar eventuais anormalidades.

Medidas corretivas sugeridas:

1) Promover melhorias nos dispositivos de ensaios,.

1.1) Recolher todas as cordoalhas em poder do pessoal de manutenção da SMMG.DT.

1.2) Através de reunião informativa orientar as equipes de manutenção para utilizarem os dispositivos de aterramentos temporários já existentes ,até que se defina o dispositivo apropriado, oriundo de estudos em andamento.

1.3) Melhoria nos dispositivos para este tipo de ensaio:

1.3.1) Estudo1.3.2) Projeto

1.3.3) Fabricação/implantação.

1.4) Fazer gestão junto ao RHM.AD e RHM.AE e área de treinamento, para elaborarem palestras e cursos sobre riscos elétricos e primeiro socorros.

1.5) Realizar palestra para todos os empregados da SMMG.DT:

1.5.1) Divulgando o resultado e, principalmente, as ações para evitar repetição.

1.5.2) Orientar pessoal para sempre que possível contar com o apoio da operação nas isolações e normalizações.